

BALANCE NUTRICIONAL Y UN BIOACTIVADOR HUMICO EN UN
SUELO CALCAREO CULTIVADO CON PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) EN ARTEAGA, COAHUILA.

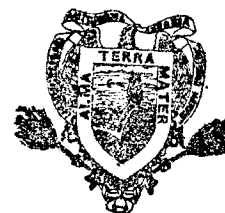
MODESTO CARLOS ANDRADE HERNANDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN SUELOS

Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



PROGRAMA DE GRADUADOS

BIBLIOTECA

Buenvista, Saltillo, Coah.
DICIEMBRE DE 1995

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y
aprobada como requisito parcial para obtener
el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN SUELOS

COMITE PARTICULAR

ASESOR PRINCIPAL:

DR. EDUARDO A. NARRO FARIAS

ASESOR:

M.C. JAVIER S. SILVEYRA MEDINA

ASESOR:

DR. ABIEL SANCHEZ ARIZPE

DR. JESUS M. FUENTES RODRIGUEZ
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Diciembre de 1995

11925

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por aceptarme en sus aulas.

Al CONACyT por la responsabilidad que tiene con sus becados para el engrandecimiento del país.

Al Dr. Eduardo A. Narro Farías. Por su invaluable contribución en mi formación profesional , en la conducción, elaboración y revisión del presente.

Al M.C. Javier S. Silveyra Medina. Por sus aportaciones y revisión de este estudio.

Al Dr. Abiel Sánchez Arizpe. Por la revisión y sugerencias del presente.

Al Ing. Pedro Recio del Bosque. Por su apoyo invaluable en la redacción y elaboración de este trabajo.

A la Ing. I. Araceli Flores Herrera. Por su apoyo y amistad desinteresada durante mis estudios de postgrado.

Al M.C. Luis Miguel Lasso Mendoza. Por sus valiosos consejos.

Al Ing. Javier S. Torres Arreguín. Por su gran amistad.

A Hilda Cecilia Burciaga. Por su participación en los análisis de laboratorio para este trabajo.

A Rosa Guadalupe Prado. Por su apoyo y amistad brindada.

DEDICATORIA

A mis padres: Ma. de Jesús Hernández y Martín Andrade Mendoza, como una muestra de mi eterno agradecimiento.

A mis hermanos: Teodoro, Tomás, M^a Elena, Eufrosina, José Luis, Arturo, Juan Carlos, Rita, Maribel, César. Con cariño y amor, parte fundamental en nuestra amistad y unidad familiar.

A Norma con amor

A mi sobrina Karol, gran estudiante y de gran calidad humana.

A mi ahijado Gustavo Andrade.

A las familias Andrade Mandujano y Andrade Montes.

COMPENDIO

Balance nutricional y un bioactivador húmico en un suelo calcáreo cultivado con papa (*Solanum tuberosum* L.) en Arteaga, Coahuila.

Por

MODESTO CARLOS ANDRADE HERNANDEZ

MAESTRIA

SUELOS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DICIEMBRE DE 1995

DR. EDUARDO A. NARRO FARIAS - ASESOR -

Palabras clave: papa, balance nutricional, bioactivadores húmicos, suelos calcáreos, potasio, calcio, magnesio, DRIS, DOP.

Los objetivos del presente trabajo son: encontrar la relación potasio, calcio y magnesio más apropiada e interacción con sustancias húmicas en el cultivo de papa; evaluar tres niveles de potasio, calcio, magnesio y humitrón 50 G, efectos e interacciones sobre el balance nutricional en el rendimiento de tubérculos, así como determinar por medio del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) el orden de requerimiento de los

nutrimentos N, P, K. Determinar mediante el nuevo índice la Desviación del Porcentaje Optimo el orden de requerimiento de los nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn para determinar las relaciones existentes entre K, Ca y Mg y su efecto sobre el cultivo de papa.

Los tratamientos estudiados consistieron en tres niveles de los elementos K, Mg al suelo y Ca al follaje y aplicar bioactivador húmico al suelo en tres niveles. El nivel medio para cada factor se consideró en base a la fertilización media regional (K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_1) y a partir de este nivel se consideró un nivel alto y bajo para cada factor en igual proporción.

El nivel alto de sustancias húmicas combinado con los niveles medios para los demás factores incrementó el índice de área foliar, peso seco de hojas, altura de planta y biomasa en general.

El mejor tratamiento en rendimiento de papa fue donde se aplicó el nivel alto del bioactivador húmico y los niveles medios para los demás factores, que corresponde al nueve (K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_2)

Con el nivel medio y alto para el bioactivador húmico se presentaron cambios en algunas características evaluadas en el suelo, pero no fueron significativos.

El orden de requerimiento de elementos mayores determinado por el DRIS en la etapa de floración para todos los tratamientos fue el potasio, fósforo y nitrógeno. El orden de requerimiento determinado por el DOP para todos los tratamientos fue el zinc, magnesio, potasio, calcio, fósforo, cobre, nitrógeno, manganeso y hierro. En el tratamiento seis ($K_1 - Ca_1 - Mg_0 - SH_1$) y nueve ($K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_2$) el nitrógeno es primero que el cobre en el orden y todos los demás conservan el mismo orden de requerimiento.

La relación de potasio, calcio y magnesio fue positiva ya que al aumentar la extracción de potasio por el cultivo se incrementó la extracción de calcio más magnesio, así como el rendimiento de tubérculo. Igual comportamiento con la extracción de calcio y la extracción de magnesio en relación a lo anterior. La concentración de potasio y magnesio se presentan en nivel no suficiente en los tejidos de la planta.

ABSTRACT

NUTRITION BALANCE AND HUMIC BIOACTIVATOR IN A CALCAREOUS SOIL
WITH POTATO (*Solanum tuberosum* L.) CROP IN ARTEAGA, COAHUILA.

By

MODESTO CARLOS ANDRADE HERNANDEZ

MASTER IN SCIENCE

SOILS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DECEMBER DE 1995

DR. EDUARDO A. NARRO FARIAS - ADVISOR

Keys Words: potato, nutrition balance, humic bioactivator, calcareous soils,
potassium, calcium, magnesium, DRIS, DOP.

The objectives of the present work are: to found potassium, calcium and magnesium relationship more adequate and interactions with humic substances in the potato crop; to evaluate three levels of potassium, calcium, magnesium and humitron 50 G effects and interactions on nutrition balance in the tuber yield and determinate with the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) the requirement order of the nutriment N, P, K; to determinate with new index of Deviation from Percentage (DOP) the requirement order of the

nutrients N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn to determine the relationship among K, Ca y Mg and their effect on potato crop.

The studied treatments were three levels of K, Mg to the soil and three levels of Ca to the foliage and three levels of humic bioactivator to the soil. The mid level of each factor was considered as the average fertilization in the area ($K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_1$) and two levels were added in the same proportion one was lower than the average and the other was higher than the average for each factor.

Higher level of humic bioactivator combined with the mid levels for the other factors increase foliar area index, dry weight, plant height and dry matter in general.

The major treatment in tuber yield was higher level of humic bioactivator and mid levels of the other factors (potassium, calcium and magnesium).

With the mid and higher level of the humic bioactivator some evaluated characteristics in the soil were affected but the differences were not significant.

The requirement order of major elements determined for DRIS in the stage bloom for all the treatments was K, P y N. The requirement order determined for DOP for all the treatments in the same stage was Zn, Mg, K,

Ca, P, Cu, N, Mn y Fe. In the six ($K_1 - Ca_1 - Mg_0 - SH_1$) and nine ($K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_2$) treatments the nitrogen is first in former relation and all treatments to conserve the same requirement order.

The relationship potassium, calcium y magnesium was positive already when increase the extraction of potassium for the crop increase the extraction of calcium and magnesium and tuber yield. Equal behavior with the extraction of calcium and the extraction of magnesium in former relationship. The potassium and magnesium concentration is present in no sufficient level in the plant tissue.

INDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| Indice de cuadros..... | xiv |
| Indice de figuras..... | xvi |
| Introducción..... | 1 |
| Hipótesis..... | 3 |
| Objetivos..... | 3 |
| Revisión de Literatura..... | 5 |
| Cultivo de papa..... | 5 |
| Origen..... | 5 |
| Clasificación botánica..... | 5 |
| Importancia económica..... | 7 |
| Condiciones de desarrollo..... | 8 |
| Nutrición del cultivo..... | 9 |
| Nitrógeno..... | 10 |
| Fósforo..... | 10 |
| Potasio..... | 11 |
| Calcio..... | 14 |
| Magnesio..... | 17 |
| Sustancias húmicas..... | 18 |
| Generalidades..... | 18 |
| Efectos de las sustancias húmicas..... | 20 |
| Efectos en las características físicas del suelo..... | 20 |
| Efectos en las características químicas del suelo..... | 22 |
| Efectos fisiológicos en la planta..... | 24 |
| Efecto en la fertilización y rendimiento..... | 25 |
| Sistema integrado de diagnóstico y recomendación..... | 25 |
| Desviación del porcentaje óptimo..... | 27 |
| Materiales y Métodos..... | 29 |
| Ubicación del sitio experimental..... | 29 |
| Descripción del área experimental..... | 30 |
| Clima..... | 30 |
| Suelos..... | 30 |
| Agua de riego..... | 31 |
| Descripción de materiales..... | 32 |
| Bioactivador..... | 32 |
| Poliquel calcio..... | 32 |
| Fertilizante potásico..... | 32 |
| Fertilizante magnesio..... | 33 |
| Selección de tratamientos..... | 33 |
| Diseño experimental y distribución de tratamientos..... | 34 |

| | Página |
|---|-----------|
| Preparación del terreno..... | 37 |
| Semilla..... | 37 |
| Tratamiento a la semilla..... | 37 |
| Siembra..... | 38 |
| Fertilización..... | 39 |
| Riegos..... | 40 |
| Labores de cultivo..... | 41 |
| Desvare..... | 41 |
| Cosecha..... | 42 |
| Evaluación de tratamientos..... | 43 |
| Mediciones en planta..... | 43 |
| Peso seco de raíz..... | 44 |
| Peso de tubérculo..... | 44 |
| Índice de área foliar..... | 44 |
| Altura de planta..... | 45 |
| Diagnóstico nutrimental..... | 45 |
| Muestreo y análisis foliar..... | 45 |
| Características medidas al suelo..... | 46 |
| Resultados y Discusión..... | 48 |
| Características Físicas del suelo..... | 48 |
| Densidad aparente (Da)..... | 48 |
| Materia orgánica..... | 50 |
| Carbonatos totales..... | 53 |
| Conductividad eléctrica..... | 55 |
| Capacidad de intercambio catiónico..... | 57 |
| Nitrógeno aprovechable..... | 59 |
| Fósforo aprovechable..... | 60 |
| Potasio intercambiable..... | 62 |
| Calcio soluble..... | 65 |
| Magnesio soluble..... | 68 |
| Mediciones en planta..... | 70 |
| Altura de planta..... | 70 |
| Número de tallos por planta..... | 71 |
| Número de tallos por metro lineal..... | 73 |
| Peso seco de tallos..... | 74 |
| Peso seco de hojas..... | 75 |
| Peso seco de raíz..... | 77 |
| Peso de tubérculos..... | 77 |
| Índice de área foliar..... | 79 |
| Análisis foliar..... | 81 |
| Nitrógeno..... | 82 |
| Fósforo..... | 82 |
| Potasio..... | 83 |
| Calcio..... | 83 |
| Magnesio..... | 84 |

| | Página |
|---|----------|
| Diagnóstico nutrimental. Indices DRIS Y DOP... Relación K, Ca y Mg con el rendimiento y la extracción por el cultivo..... | 85 92 |
| Conclusiones..... | 100 |
| Resumen..... | 102 |
| Literatura Citada..... | 105 |
| Índice..... | 110 |

INDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|--------|
| 3.1 Análisis físico-químico del suelo a la profundidad de 0-40 cm antes del establecimiento del experimento Huachichil. 1994..... | 31 |
| 3.2 Niveles estudiados de cada factor. Cañón Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila. 1994..... | 34 |
| 3.3 Lista de tratamientos reales para cuatro factores, correspondientes a la baconiana modificada explorando (0-50-100), (3-6-9), (20-25-30) y (150-300-450) kg/ha de Humitrón granulado 50, lt/ha de poliquel calcio, kg/ha de sulfato de magnesio y kg/ha de sulfato de potasio respectivamente. Cañón Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila. Primavera de 1994..... | 35 |
| 3.4 Concentración de elementos en la fuente de fertilizante aplicado al cultivo de papa en el Cañón de Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila. 1994..... | 40 |
| 3.5 Plagas y enfermedades, nombre científico, control, fórmula y dosis en el cultivo de papa para el Cañón Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila..... | 42 |
| 4.1 Análisis foliar en hojas y peciolo en el cultivo de papa en muestras compuestas tomadas en la etapa de floración..... | 81 |
| 4.2 Rangos de concentración de nutrimentos propuestos por Jones <i>et al.</i> (1991) en hojas y peciolo en el cultivo papa, muestra tomadas en floración..... | 82 |
| 4.3 Índices DRIS de N-P-K, rendimiento de papa, índices de desbalance nutrimental y orden de requerimiento de los tratamientos estudiados en la etapa de floración Huachichil. 1994, Coahuila..... | 86 |
| 4.4 Valores del análisis foliar por tratamiento en por ciento para papa, Huachichil. 1994, Coahuila..... | 87 |
| 4.5 Valores de índices de la desviación del porcentaje óptimo para papa, Huachichil. 1994, Coahuila..... | 88 |

| Cuadro | Página |
|---|--------|
| 4.6 Valores del análisis de tejidos para papa en las Golondrinas, Navidad, N.L. Tomados de Flores (1993).. | 88 |
| 4.7 Valores de los índices de desviación del porcentaje óptimo para papa en "Las Golondrinas", Navidad N.L. Tomados de Flores (1993)..... | 89 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|--------|
| 1.1 Ubicación del sitio experimental. El Huachichil. Coahuila..... | 29 |
| 1.2 Plano de campo y distribución de tratamientos mediante un diseño bloques al azar. Cañón de Emiliano Zapata, Huachichil. Arteaga, Coahuila..... | 35 |
| 2.1 Densidad aparente después de cosechar. Huachichil. Coahuila..... | 49 |
| 2.2 Densidad aparente promedio en relación al nivel de sustancias húmicas aplicadas al suelo, Huachichil, Coahuila..... | 49 |
| 2.3 Materia Orgánica promedio por tratamiento, Huachichil. Coahuila..... | 51 |
| 2.4 Materia Orgánica promedio por tratamiento en relación a los niveles de húmicos aplicados al suelo..... | 51 |
| 2.5 Carbonatos promedio por tratamiento, Huachichil. Coahuila..... | 54 |
| 2.6 Carbonatos en relación a los niveles de sustancias húmicas aplicados al suelo, Huachichil. Coahuila..... | 54 |
| 2.7 Conductividad eléctrica promedio del suelo al final el experimento, Huachichil. Coahuila..... | 56 |
| 2.8 Capacidad de intercambio catiónico promedio por tratamiento al final del experimento, Huachichil. Coahuila..... | 58 |
| 2.9 Capacidad de intercambio catiónico promedio en relación a los niveles de sustancias húmicas en el suelo cultivado con papa, Huachichil. Coahuila..... | 58 |
| 2.10 Nitrógeno promedio en el suelo por tratamiento al final del experimento, Huachichil. Coahuila..... | 59 |

| Figura | Página |
|---|--------|
| 4.11 Fósforo promedio del suelo por tratamiento al final del experimento, Huachichil. Coahuila..... | 61 |
| 4.12 Potasio, calcio y magnesio en suelo al final del experimento, Huachichil. Coahuila..... | 63 |
| 4.13 Niveles potasio-húmicos en el suelo y su relación con el rendimiento y producción de biomasa, Huachichil, Coahuila..... | 63 |
| 4.14 Calcio-húmicos con relación al rendimiento de tubérculos y producción de biomasa, Huachichil. Coahuila..... | 68 |
| 4.15 Altura de planta en el cultivo de papa en tres mediciones. Huachichil. Coahuila..... | 71 |
| 4.16 Tallos por planta en el cultivo de papa. Huachichil. Coahuila..... | 72 |
| 4.17 Tallos por metro lineal en el cultivo de papa. Huachichil, Coahuila..... | 73 |
| 4.18 Peso seco de tallos del cultivo de papa. Huachichil. Coahuila..... | 75 |
| 4.19 Peso seco de hojas en el cultivo de papa. Huachichil. Coahuila..... | 76 |
| 4.20 Peso seco de raíz en el cultivo de papa. Huachichil. Coahuila..... | 77 |
| 4.21 Peso fresco de tubérculos por planta en el cultivo de papa, Huachichil. Coahuila..... | 78 |
| 4.22 Índice de área foliar en el cultivo de papa. Huachichil. Coahuila..... | 80 |
| 4.23 Relación de potasio en solución con el rendimiento estimado de tubérculo y extracción de potasio por el cultivo de papa. Huachichil. Coahuila..... | 93 |

| Figura | Página |
|---|--------|
| 4.24 Relación del calcio en solución con respecto a la extracción por el cultivo y el rendimiento de tubérculo. Huachichil. Coahuila..... | 94 |
| 4.25 Relación del magnesio en solución con respecto a la extracción por el cultivo y el rendimiento de tubérculo. Huachichil. Coahuila..... | 95 |
| 4.26 Extracción de potasio en relación a la extracción de calcio y magnesio por el cultivo. Huachichil. Coahuila.... | 96 |
| 4.27 Extracción de magnesio en relación a la extracción de calcio y potasio por el cultivo. Huachichil. Coahuila..... | 97 |
| 4.28 Extracción de calcio en relación a la extracción de magnesio y potasio por el cultivo. Huachichil. Coahuila. | 97 |
| 4.29 Rendimiento estimado de tubérculo, cultivo de papa. Huachichil. Coahuila..... | 98 |

I. INTRODUCCION

La demanda constante y creciente de alimentos para la humanidad genera una problemática que requiere de un gran esfuerzo para alcanzar soluciones integrales derivadas de la investigación de técnicas apropiadas y la consolidación de las mismas, enfocadas a incrementar la productividad de los suelos agrícolas.

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo de gran importancia por su preferencia para consumo en la alimentación humana, como un elemento que aporta altos valores de contenido energético a la dieta diaria, ocupa el segundo lugar en el grupo representativo de hortalizas que se consumen en México, con un consumo per capita que se ha venido incrementando hasta 16.5 kg en 1991 (Productores de Hortalizas, 1995). El rendimiento unitario es alto, a nivel mundial solo es superado por los cereales trigo, maíz y arroz; mientras que a nivel nacional ocupa el segundo lugar en importancia solo detrás del maíz, es el producto que genera mas energía y proteínas por unidad de superficie sembrada.

México cuenta con zonas productoras de reconocida importancia tales como: Los Valles Altos de Toluca, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Chihuahua, El

Bajío de Guanajuato, La Región de Navidad, Nuevo León y en Coahuila en la Sierra de Arteaga y Derramadero.

En las Regiones de Navidad, Sierra de Arteaga y Derramadero la producción es limitada principalmente por las deficiencias nutrimentales originadas por la naturaleza calcárea de los suelos, con alto contenido de carbonatos y reacción alcalina. Burton (1981) indica que el rendimiento potencial de tubérculo es de 90 ton/ha, mientras que en la región el rendimiento medio es de 30 ton/ha, causado en gran medida por los problemas mencionados, lo que también puede provocar considerables bajas en la calidad de tubérculos cosechados.

La relación potasio, calcio y magnesio es de gran importancia para lograr un balance adecuado en el suelo. Por otra parte las sustancias húmicas dan altas producciones e incrementan el área foliar y el sistema radical, además de estimular la utilización de nutrimento al ser prevenida su inmovilización en el suelo (Lee y Bartlett, 1978). Con la finalidad de observar el comportamiento en rendimiento y calidad de tubérculos a la aplicación de estos productos se llevo a cabo el experimento que a continuación se describe.

Hipótesis

1. El balance de los elementos potasio, calcio y magnesio afecta el balance nutricional completo de la planta y al rendimiento de tubérculos.

2. La aplicación de bioactivadores húmicos en suelos calcáreos mejoran sus características físicas y químicas e incrementan la producción de biomasa y rendimiento de tubérculo.

Objetivos

1. Encontrar la relación potasio, calcio y magnesio más apropiada e interacción con sustancias húmicas en el cultivo de papa.

2. Evaluar tres niveles de potasio, calcio, magnesio y humitrón 50 G, efectos e interacciones sobre el balance nutricional en el rendimiento de tubérculos.

3. Determinar por medio del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación el orden de requerimiento de los nutrimentos N, P, K.

4

4. Determinar por medio del nuevo índice la Desviación del Porcentaje Optimo y el orden de requerimiento de los nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn.

II. REVISION DE LITERATURA

Cultivo de papa

Origen

La papa es originaria de América del Sur y primero se cultivó en la región de los Andes cercano a la frontera entre Perú y Bolivia. Posteriormente se introdujo a Europa en 1573, en Sevilla, España y después a Inglaterra. Los materiales encontrados son la *Solanum tuberosum* subespecies *andigena* en la región de los Andes en el Perú y la *Solanum tuberosum* subespecies *tuberosum* en el sureste de Chile, estas especies son las que corresponden a las especies comerciales (Horton, 1987).

Clasificación botánica

La papa se clasifica de la siguiente manera:

Familia *Solanaceae*

Género *Solanum*

Familia*Solanaceae*

Género*Solanum*

Especie*tuberosum*

Horton (1987) menciona que el género *Solanum* contiene unas 2000 especies dentro de estas se incluyen a las plantas de tomate, tabaco, entre otras, cultivos de importancia económica. El nombre de papa se deriva de la palabra batata. Los conquistadores españoles le llamaron patata y en inglés potato, actualmente las publicaciones de Estados Unidos se refieren a la papa con el nombre de potatoes. La papa se clasifica como dicotiledonea anual y puede persistir en el campo vegetativamente de una estación a la siguiente.

Importancia económica.

La papa es un cultivo que tiene un gran valor nutritivo por su alto contenido en carbohidratos, vitaminas y proteínas para la dieta humana y alto rendimiento unitario lo que hace a esta hortaliza más importante en la actualidad (Sánchez, 1988).

Cullen y Wilson (1971) dicen que la papa es una fuente de energía para el hombre, ningún grano puede competir en su producción por hectárea, tiene por lo menos doble valor alimenticio que una área comparativa de maíz. La papa ha ocupado una posición clave en la economía. En tiempo de guerra

un país sitiado no tiene más opción que volver a este cultivo y aprender a calcular su dieta diaria.

SEP (1987) indica que las partes más importantes de la papa son las ramas subterráneas de los rizomas estoloníferos, que forman los tubérculos, estos contienen reservas alimenticias en forma de almidón y proteínas. El tubérculo contiene 80 por ciento de agua. La materia seca consta de carbohidratos, proteínas, celulosa, y minerales, y vitaminas A, C, y algún complejo de vitamina B.

Condiciones de desarrollo

La papa produce altos rendimientos y calidad cuando crece bajo condiciones de días largos calientes y noches frías. Las temperaturas diarias son de 75 a 90°F seguido de noches con temperaturas frías de 60 a 65°F son las ideales para máximos rendimientos. Estas condiciones son más críticas durante la formación de tubérculos. El tipo de suelos más apropiados, son los de buen drenaje, se puede adaptar a cierto rango de tipos de suelo, seleccionando variedades adaptadas y buen manejo cultural requerido para asegurar máximos rendimientos. Los requerimientos de agua varían de acuerdo al tipo de suelo y condiciones climáticas, pero de 16 a 30 pulgadas suplementarios con irrigación adicionales a la lluvia natural son suficientes (Roberts, 1975).

Maroto (1989) indica que la papa requiere de climas templados - fríos cuyo cero vegetativo se encuentra entre los 6 y 8° C, pero los brotes pueden crecer a partir de 2°C. La temperatura óptima está entre 15 y 18°C y le favorecen temperaturas relativamente frescas. En cuanto a humedad, la papa es un cultivo exigente y para fabricar 1 kg de materia seca necesita unos 300 kg de agua. La papa tiene un período crítico para la humedad del suelo entre la iniciación de la tuberización y la floración. En cuanto al suelo, requiere suelos ligeros o semiligeros, ricos en humus con un subsuelo profundo. Soporta pH ácidos del orden de 5.5 - 6.

Nutrición del Cultivo

Las plantas obtienen la mayor parte de los elementos nutritivos de la solución del suelo. La alimentación a través de las hojas puede ser útil para resolver casos de emergencia en que se necesitan elementos mayores; éste modo de absorción no puede sustituir a la aplicación ordinaria de fertilizantes al suelo. Los elementos nutritivos al penetrar al interior de la planta se utilizan para formar proteínas, membranas celulares y productos de reserva, como el azúcar, el almidón y las grasas (Worthen, 1980).

Es importante considerar que las interacciones entre nutrimentos es uno de los factores que afectan el contenido y el estado nutricional de las plantas. Por ejemplo la aplicación de fósforo disminuye el contenido de zinc, la

aplicación de potasio disminuye el contenido de calcio y magnesio. Este antagonismo entre elementos también es muy notable en la absorción de hierro, cobre, manganeso y zinc (Howeler, 1983).

Nitrógeno

Kramer (1979) menciona que el nitrógeno está presente en compuestos como aminoácidos, amidas, ácidos nucleicos, nucleótidos, proteínas y alcaloides. el nitrógeno puede ser tomado en forma de nitratos, nitritos, sales de amonio y compuestos orgánicos como urea, pero que es más absorbido en la forma de nitratos y amonio. Hay evidencias que las especies difieren en los requerimientos de nitrógeno, por ejemplo, el maíz absorbe cerca de 175 kg de nitrógeno, la alfalfa puede usar arriba de 200 kg/ha en una estación.

El nitrógeno es necesario a lo largo de todo el ciclo, esencialmente en la fase vegetativa. Un nivel adecuado de este elemento, la planta formará más follaje, repercutiendo en una reducción en la tuberización (Pearsons, 1982).

Fósforo

Entre las plantas existen diferencias con el desarrollo radical y el

más importante dentro de las especies de tubérculos de clima templado y el fósforo juega un papel esencial en la calidad y en la sanidad. El suministro óptimo de fósforo produce sustancias determinantes en la calidad: aumento de la proteína bruta en las partes verdes de la planta, aumento de los aminoácidos esenciales de los granos, hidratos de carbono, vitaminas, disminuye el contenido de nicotina en el tabaco y el contenido del ácido oxálico en las hojas (Finck, 1985)

Potasio

El potasio está presente en el suelo en cuatro formas: como ion K^+ en la solución del suelo, intercambiable en los coloides, fijado a las arcillas 2:1 principalmente illitas y formando parte de los minerales. Las plantas toman el potasio como K^+ de la solución del suelo, en el cultivo de papa los valores considerados como suficientes son de 6.0 - 8.0 por ciento y son bajos cuando los valores son de 5.99 por ciento o menores y altos cuando el valor es superior a 8.0 por ciento. El potasio es de movilidad alta en los tejidos y media en el suelo, interviene en la formación de azúcar y almidón; síntesis de proteínas. Cataliza reacciones, neutraliza ácidos orgánicos y opera estomas. Imparte gran vigor y resistencia a las enfermedades, aumenta el tamaño de grano y semillas. La deficiencia de potasio provoca infestación de enfermedades, el rendimiento y calidad de frutos se reduce, las hojas viejas son moteadas con puntos verde

pálido, necróticos o curvados, con márgenes y puntos quemados; sistema radical y tallos débiles (Jones, Wolf y Mills, 1991 y Narro, 1995).

Jones, Wolf y Mills (1991) mencionan que el potasio interactúa con el magnesio y calcio. Alta concentración de potasio provoca deficiencia de magnesio y de calcio. El amonio también juega un importante papel en el balance que existe entre los tres cationes K, Ca y Mg.

El potasio es indispensable para la vida y participa directamente en la formación y del crecimiento de las células. El potasio es muy móvil en el interior de los tejidos vegetales y juega diversos papeles:

- Activa la fotosíntesis y favorece la formación de glúcidos (azúcares y almidón) en las hojas y su acumulación en los órganos de reserva (raíces y tubérculos).

- Participa en la formación de las proteínas.

- Reduce la transpiración bajando las necesidades de agua de los vegetales y aumentando su resistencia a la sequía; asegura una mayor eficacia de los riegos.

- Permite una mayor resistencia al frío y a las enfermedades.

- Junto al ácido fosfórico favorece el desarrollo radical y confiere una mayor resistencia mecánica a los tejidos vegetales y con ello a las adversidades y el encamado (Bartolini, 1989).

López (1990) menciona que los efectos del potasio sobre la calidad de los productos cosechados son muy variados, debiendo hacerse hincapié en el mejoramiento de la textura, color, incremento del contenido de azúcar, así como en el refinamiento del sabor, beneficio del tamaño y fomento de la consistencia de los frutos. La óptima relación potasio/calcio es de gran importancia en el favorable equilibrio acuoso de la planta.

Badraoui (1992) menciona que la capacidad de un suelo de suministrar suficiente potasio para el crecimiento de las plantas en cultivos intensivos depende de la habilidad para liberar potasio de los espacios interlaminares de las láminas de silicatos. La química y mineralogía de los suelos influye fuertemente la movilización del potasio intercambiable.

Tivy (1992) indica que la absorción de potasio y concentración en los cultivos es alto, debido a que ocurre un consumo de lujo, absorben en exceso, más de sus necesidades. El potasio de los fertilizantes aplicados al suelo con seguridad es fijado en los látices de las arcillas minerales, particularmente en los grupos de montmorillonita e illita.

Locascio *et al.* (1992) menciona que los excesos de potasio 225 y 450 g/ha aplicados en este estudio para el crecimiento tienen poco o ningún efecto sobre el rendimiento, pero reduce significativamente la gravedad específica de papa. Los excesos de potasio reducen la concentración de calcio en las hojas

y tejidos de la médula y reduce la gravedad específica de la misma del tubérculo.

Calcio

El calcio se encuentra presente en el suelo como catión calcio en la solución y como calcio intercambiable en los coloides del suelo. En suelos de pH mayor de 8.0 pueden contener altas cantidades de calcio precipitado como carbonato y sulfato de calcio. Las plantas lo toman como Ca^{++} de la solución, el rango de suficiencia en el cultivo de papa es de 1.5 -2.5 por ciento y los valores de 1.49 o menor y mayor de 2.5 por ciento se consideran bajo y alto respectivamente. El calcio es de muy baja movilidad en el floema y en el suelo es media; dentro de sus funciones ayuda a mantener la integridad y permeabilidad de las membranas celulares, constituye parte de las paredes celulares, interviene en la división y elongación celular, en el crecimiento y asimilación del nitrógeno. Aumenta la germinación del polen y neutraliza ácidos orgánicos. La deficiencia de calcio afecta las zonas meristemáticas; las plantas presentan color café en las puntas de crecimiento y neutraliza ácidos orgánicos (Jones, Wolf y Mills, 1991 y Narro, 1995).

El calcio es un catión muy abundante en las hojas de las plantas (a veces precipitado como oxalato de calcio), en la savia, etc. Las deficiencias de calcio se manifiestan en principio en los tejidos meristemáticos de tallos y

raíces, con lo cual el crecimiento cesa. El calcio es un elemento "inmóvil". El examen microscópico del sistema radical de vegetales que no reciben calcio revela un desarrollo incompleto de las membranas de las células jóvenes. En ausencia de calcio la selectividad de la membrana para absorber iones no funciona y ocurre una indiscriminada absorción de éstos. Imparte rigidez a la membrana, participa en la germinación del polen, en el transporte intracelular de nitritos, y como cofactor de un buen número de reacciones enzimáticas (Carbonero, 1985).

El calcio es necesario para el crecimiento de meristemos y raíces. Los pectatos de calcio juegan un papel importante en la formación de la lamela media de las células, interviene en la absorción de nitrógeno y es básico para neutralizar los ácidos orgánicos en la planta. La deficiencia de calcio se presenta como una reducción en el sistema de hojas y raíces, no es móvil en la planta y los síntomas aparecen primero en los tejidos de hojas jóvenes (Flegmann y Raymond, 1980).

El calcio es el elemento que con mayor frecuencia aparece en los desórdenes nutricionales de las plantas. Su dificultad de absorción pasiva y transporte por el xilema sin prácticamente translocación, le hacen muy susceptible a carencias locales y estacionales, en gran medida independientes de su presencia y concentración en la solución nutritiva. En efecto, su toma por la raíz se ve afectada por causas tan diversas como: intensidad de la

transpiración, concentración salina de la solución, concentración de cationes antagónicos como magnesio, potasio, sodio y amonio. Las carencias de calcio se producen en las partes de la planta en rápido crecimiento, hojas o frutos jóvenes, cuando el desarrollo celular es rápido y la necesidad de calcio para incorporación de las paredes celulares elevada (Cánovas, 1993).

Crafts (1971) menciona que en la absorción de iones la selectividad depende absolutamente sobre la presencia del calcio en la solución. El papel del calcio en el funcionamiento de la membrana es mantenerla impermeable a los iones, minimizando la penetración de la difusión, y esta mantiene la selectividad en el mecanismo de transporte.

Los efectos benéficos del calcio en un suelo salino cultivado con frijol son los siguientes:

- Rápido y elevado porcentaje de germinación.
- Al incrementar la concentración de calcio en la zona radical, se reduce el efecto negativo de la salinidad.
- Un mayor nivel de calcio reduce la absorción de sodio, e incrementa la absorción de calcio, consecuentemente reduce la toxicidad del sodio.
- Parcial preservación de la integridad de la membrana contra daños de cloruro de sodio (Cachorro *et al.*, 1994).

Magnesio

El magnesio se encuentra en el suelo en la solución como Mg^{++} y en forma intercambiable en los coloides del suelo. Los niveles de suficiencia en el cultivo de papa son de 0.70 - 1.0 por ciento, mientras que el nivel bajo es de 0.69 por ciento o menor y mayor de 1.0 por ciento se considera alto. La movilidad en la planta es alta y en el suelo es media; forma parte de la molécula de clorofila y sirve como cofactor de la mayoría de las enzimas que activan los procesos de fosforilación. Participa en la síntesis de ARN y proteínas. Es necesario en la formación de azúcares, ayuda a regular la asimilación de potasio y calcio. Actúa como transporte de fósforo en la planta y promueve la formación de aceites y grasas. Los síntomas de deficiencia se observan como una clorosis intervenal en hojas viejas, con daño severo también se observa en hojas jóvenes, las que pueden desarrollar áreas necróticas. La deficiencia se provoca por concentraciones bajas en el suelo o por excesos de calcio y potasio en el suelo, (Jones *et al.*, 1991) y (Narro , 1995).

El magnesio se absorbe por las plantas del suelo en forma iónica Mg^{++} , forma parte de la estructura de la molécula de clorofila, es cofactor de todas las enzimas que actúan sobre los substratos fosforilados: es vital en el transporte de energía en el metabolismo. Al formar parte de la clorofila el síntoma más conocido de deficiencia es la clorosis de las hojas en los espacios entre los nervios. Esto ocurre primero en las hojas en más viejas y se desplaza

hacia las hojas más jóvenes, a medida que la deficiencia es más aguda, por esto el magnesio es un elemento móvil en la planta (Armas, 1988).

El magnesio es menos abundante en los suelos que el calcio, la mayoría de las plantas lo requieren en grandes cantidades y se toma como Mg^{++} . Desempeña importantes funciones en la planta, puede servir para ligar enzima y substrato, por ejemplo en reacciones que implican transferencia de fosfato de ATP, en las que el magnesio actúa como eslabón que vincula la enzima a su substrato. El magnesio es decisivo en las reacciones de metabolismo energético, así como en la síntesis de constituyentes del núcleo, cloroplasto y ribosoma (Bidwell, 1979).

Sustancias Húmicas

Generalidades

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos de color marrón y amarillo que se extraen del suelo por soluciones alcalis, sales neutras, o disolventes orgánicos. El humus contiene alrededor de una tercera parte de ácidos húmicos y sustancias relacionadas, y dos terceras partes de huminas, o restos de materia orgánica no transformada. Solo una pequeña parte de las sustancias húmicas se encuentra libre, la mayoría está unida a las partículas de suelo. El nombre de ácidos, o sustancias húmicas es genérico para los

materiales que se pueden extraer del suelo por varios extractantes y ser precipitados por ácido mineral diluido. Los principales ácidos húmicos son: ácido húmico, ácido fúlvico y ácido himatomelánico. Las sustancias húmicas comerciales se extraen principalmente de la leonardita, del lignito y de las turbas. El término de bioactivadores húmicos es porque su principal función agrícola es de estimular o activar el metabolismo vegetal (Narro, 1995).

Donahue (1992) y Narro (1994) mencionan que la naturaleza del humus del suelo es extremadamente compleja y se pueden dividir, por su solubilidad, en ácido fúlvico, ácido húmico y huminas. Contiene otras sustancias específicas como son azúcares, ácidos nucleicos, fosfolípidos, vitaminas, sulfolípidos y polisacáridos, todas estas sustancias son complejos naturales de origen incierto. Estos pueden ser residuos de tejidos de plantas, sintetizados por microbios, o residuos de degradación microbial. El humus del suelo es continuamente cambiado, produciendo modificaciones en el complejo de la mezcla. Los grupos funcionales de el humus son:

- Carboxilo COOH (grupo ácido) al ionizarse el hidrógeno deja su sitio en la molécula cargado negativamente, con la posibilidad de atraer cationes.

- Hidroxilo fenólico. Anillo bencénico con radical $-\text{OH}$, que tiende a ionizarse y dejar un sitio con carga negativa.

- Amina: $-\text{NH}_2$ el nitrógeno con frecuencia se integra a estructuras orgánicas con tres enlaces covalentes entre átomos de carbono e hidrógeno.

- Grupos fenólicos, alcohólicos y cetónicos. Estructuras aromáticas comúnmente sustituidas por grupos COOH y OH.

Bartolini (1989) indica que el humus desempeña tres importantes papeles en el suelo:

1) Biológico: soporte alimenticio de la fauna y microflora del suelo, actividad indispensable para mejorar o mantener la fertilidad.

2) Químico nutricional: al descomponerse la materia orgánica libera elementos minerales presentes en los residuos vegetales y animales (N, P, K, Mg, S, etc.).

3) Físico: la presencia de un complejo arcillo - húmico estable mantiene una buena estructura. La materia orgánica favorece una mejor permeabilidad del suelo y aumenta la capacidad de retención de agua.

Efectos de las sustancias húmicas

Efectos en las características físicas del suelo

Narro (1995) menciona que los efectos físicos en el suelo de las sustancias son:

- Mejoran la estructura.
- Reducen la densidad aparente y de partículas sólidas.
- Reducen compactación y facilitan el laboreo.

- Incrementan la disponibilidad de humedad del suelo.
- Reducen la resistencia del suelo a la penetración de raíces.
- Reducen la formación de costras y grietas.
- Oscurecen el color.

Tarchitzky (1993) indica que las sustancias húmicas son importantes factores en la asociación de partículas en el suelo. Las características de dispersión y floculación de arcillas tienen relación con las interacciones de arcillas y sustancias húmicas y pH, para este estudio se trabajó con Na-montmorillonita en función del catión intercambiable (Na y Ca), ácido húmico y ácido fúlvico a concentraciones de 0-40 mg L⁻¹, y pH (4, 6, 8, y 10). Los valores de floculación en Na- montmorillonita aumenta a medida que se incrementa la concentración de sustancias húmicas a todos los niveles de pH. Los efectos de sustancias húmicas en la estabilidad de Na- montmorillonita en suspensión es explicada por las interacciones entre moléculas de sustancias húmicas cargadas negativamente y por las cargas de las arcillas. A pH 10 y baja concentración de sustancias húmicas tuvieron poco efecto en el valor de floculación.

Kretschmar *et al.* (1993) mencionan que en un estudio realizado en Carolina del Norte para caracterizar la mineralogía y la conducta del agua sobre la dispersión de arcillas finas en el horizonte Ap de un Ultisol, trataron las arcillas con sustancias orgánicas y óxidos de fierro. Al respecto soportan

fuertemente la hipótesis que las sustancias húmicas incrementan la estabilidad coloidal de arcillas finas en un suelo caolínico.

Piccolo y Mbagwu (1994) mencionan que la conservación de los suelos en el trópico está influenciado por las prácticas de manejo que incluyen la adición de materia orgánica y agroquímicos que contengan surfactantes. En Nigeria, en un suelo Entisol se observaron cambios en la estabilidad estructural seguidas de la incorporación de ácidos húmicos, en el porcentaje de estabilidad de agregados se mejoró con el incremento de ácidos húmicos y sustancias surfactantes. Los ácidos húmicos también reducen significativamente la magnitud de desagregación causado por adiciones surfactantes no iónicos. En la microagregación la combinación de los ácidos húmicos y surfactantes no iónicos decrece significativamente el aumento de arcilla dispersable (se incrementa la estabilidad).

Efectos en las características químicas del suelo

Narro (1995) indica que principales efectos de las sustancias húmicas en las características químicas de los suelos agrícolas son las siguientes:

- Acidifican ligeramente y luego incrementa la acción buffer.
- Incrementan la capacidad de intercambio catiónico.
- Aumentan la disponibilidad de algunos nutrimentos en el suelo.
- Aceleran la mineralización de nutrimentos inmovilizados.

Edmond *et al.* (1984) menciona que las partículas individuales del humus se encuentran en forma coloidal, son relativamente estables y tienen estrecha relación química con las lignoproteínas. Las partículas húmicas adsorben a las partículas de arcilla coloidal y forman un complejo coloidal húmico-arcilloso. Estas partículas tienen una gran superficie externa e interna, con cargas negativas que atraen a los iones con carga positiva, la mayoría esenciales para los cultivos como el calcio, potasio, magnesio, el amonio y otros.

La acidez de un subsuelo es un serio problema en muchos suelos tropicales y subtropicales. La alta acidez, bajos contenidos de calcio y frecuentemente niveles tóxicos de aluminio soluble y/o intercambiable impide severamente el desarrollo de las plantas en estos suelos. Es bien conocido que las sustancias húmicas pueden movilizar y formar complejos con metales en suelos, se menciona que el calcio puede unirse con fulvatos y es altamente eficiente transportador de calcio en el perfil del suelo. Además, se encontró mejor resultado cuando se aplicaron calcio-fulvato a la superficie que cuando se aplicó el sulfato hidratado de calcio, calcio-EDTA, hidróxido de calcio o carbonato de calcio (Van der Watt *et al.*, 1991).

La interacción entre sustancias húmicas en un Andisol montmorillonítico con complejos de hidroxialuminosilicatos o iones hidroxialuminio. Se utilizó una concentración de Al de 4 mM, Si/Al con

proporción atómica de 0, 0.25, 0.5, 0.75, y 1.0, y una proporción molar de NaOH/Al de 2.0. La adsorción de sustancias húmicas con los complejos hidroxialuminosilicatos-montmorillonita e hidroxialuminio-montmorillonita al incrementar el pH decrecen en estos sistemas de adsorción. A concentraciones de 10 a 1000 mg L⁻¹ de sustancias húmicas y pH 5.5 la adsorción de ácido húmico por estos complejos decrece con un incremento en la relación Si/Al fijados en los espacios interlaminares de la motmorillonita (Inoue *et al.*, 1990).

Efectos fisiológicos en la planta

Sensei y Loffredo (1994) mencionan que las modificaciones morfológicas en el sistema de hojas y raíces aparentes en chícharo (*Pisum sativum* L.) en tres variedades de plantas en la presencia de 100 mg/L de ácido húmico y fúlvico a 20 mg/L de linuron [3-(3,4- dichlorophenyl) -1- methoxy -1- methylureal o sea ametrina [2- etilamino -4 iso - propilamino -6- methylthio - 1,3,5 triazine]. Una combinación de sustancias húmicas y herbicidas a estas concentraciones produjo en todas las variedades una diferenciación y marcada reducción en longitud de raíces . Los efectos significativos fueron producidos en las hojas y peso seco de raíces por ambos o herbicida sólo y por alguna

efecto en la fertilización y rendimiento

Narro (1995) menciona que dentro de los efectos favorables de las sustancias sobre características de plantas cultivadas sin limitaciones de agua son:

- Incrementan la asimilación de nutrimentos vía radical y foliar.
- Mejoran el transporte de nutrimentos en la planta.
- Incrementa la producción de biomasa y crecimiento vegetal.
- El rendimiento se mejora y se mejora la calidad.

Flores (1993) encontró que al reducir la fertilización a 25 y 50 por ciento en forma combinada el nitrógeno y el potasio, aplicando 200 kg/ha de sustancias húmicas resultó el mejor tratamiento, además de obtener el mejor rendimiento total de papa.

García (1993) menciona que la aplicación de sustancias húmicas incrementan el rendimiento de tubérculos, en combinación con la reducción de fertilizante.

Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación

El diagnóstico del estado nutricional de una planta se puede hacer en base en observaciones visuales de síntomas de deficiencia o de toxicidad,

con base en análisis de suelos o con base en análisis del tejido vegetal, sin embargo, el análisis del tejido vegetal tiene la ventaja de medir el contenido de total del nutrimento y no solamente la fracción denominada disponible como sucede en los análisis de suelo (Howeler, 1983).

El método DRIS fue concebido originalmente por Beaufils (1975) como un sistema experimental no específico que puede ser usado para calibrar al unísono los factores de producción y de calidad de la planta, suelo, medio ambiente, tratamientos y manejo, así como sus interacciones recíprocas. Beaufils y Summer (1976), desarrollaron normas para el suelo siguiendo la misma metodología que en la planta. Esto es de gran valor en cuanto a que se considera el concepto de balance entre suelo y planta y confiere la posibilidad de integración de la información del suelo y la planta con fines de diagnóstico.

El DRIS es un sistema holístico en el que todos los factores determinantes de la producción susceptibles de ser expresados cualitativa o cuantitativamente, se calibran como funciones de producción, incluyendo factores de planta y suelo y ambiente (Erickson *et al.*, 1982).

Navvabzdeh y Malakouti (1993) desarrollaron las normas DRIS para papa en un suelo calcáreo de Iran y encontraron que dentro del orden de requerimiento para elementos mayores en primer lugar se ubicó el potasio con los índices más negativos y el menos requerido en la mayoría de casos es el

nitrógeno y dentro de los menores sobresale el zinc para gran parte de los sitios de estudio.

Desviación del Porcentaje Optimo

La interpretación de análisis de plantas basado en un nuevo índice es propuesto por Montañés *et al.* (1993) con el objetivo de introducir un nuevo índice como una metodología alternativa para la interpretación del análisis mineral de las plantas. Para calcular los índices se aplica la siguiente fórmula general:

$$DOP = [(C \times 100) / Cref] - 100 .$$

Donde:

DOP = Desviación del Porcentaje Optimo.

C = Concentración del elemento, resultado del análisis de tejido.

Cref = Concentración óptima del nutrimento, propuestos para el cultivo en referencia.

El valor absoluto del índice DOP indica la importancia de la severidad de una situación anómala.

Cuando el elemento se encuentra en una concentración óptima el DOP para ese elemento es igual a cero.

Cuando el DOP es negativo indica déficit del elemento y positivo indica exceso.

Los índices de la Desviación del Porcentaje Optimo (DOP) se definen como la desviación del porcentaje de la concentración de un elemento (por ciento basado en materia seca) con respecto a la concentración óptima tomado de los valores de referencia.

Montañés *et al.* (1993) comparó el DRIS y DOP en cultivos como maíz, soya, sorgo, alfalfa trabajos donde se aplicó el sistema DRIS y encontró el mismo orden de requerimiento con ambos sistemas y concluye que el DOP puede ser aplicado a cualquier cultivo, presenta índices de déficit o exceso y nivel óptimo y permite conocer el orden en que un elemento limita el rendimiento.

III. MATERIALES Y METODOS

Ubicación del sitio experimental

La parte experimental de este trabajo de investigación, se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera-verano de 1994 en la región del Huachichil, Cañón Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila. Este lugar se localiza al sureste de la ciudad de Saltillo en el kilómetro 55 de la carretera federal No. 57, entre Saltillo y Matehuala, S.L.P. (Figura 3.1).

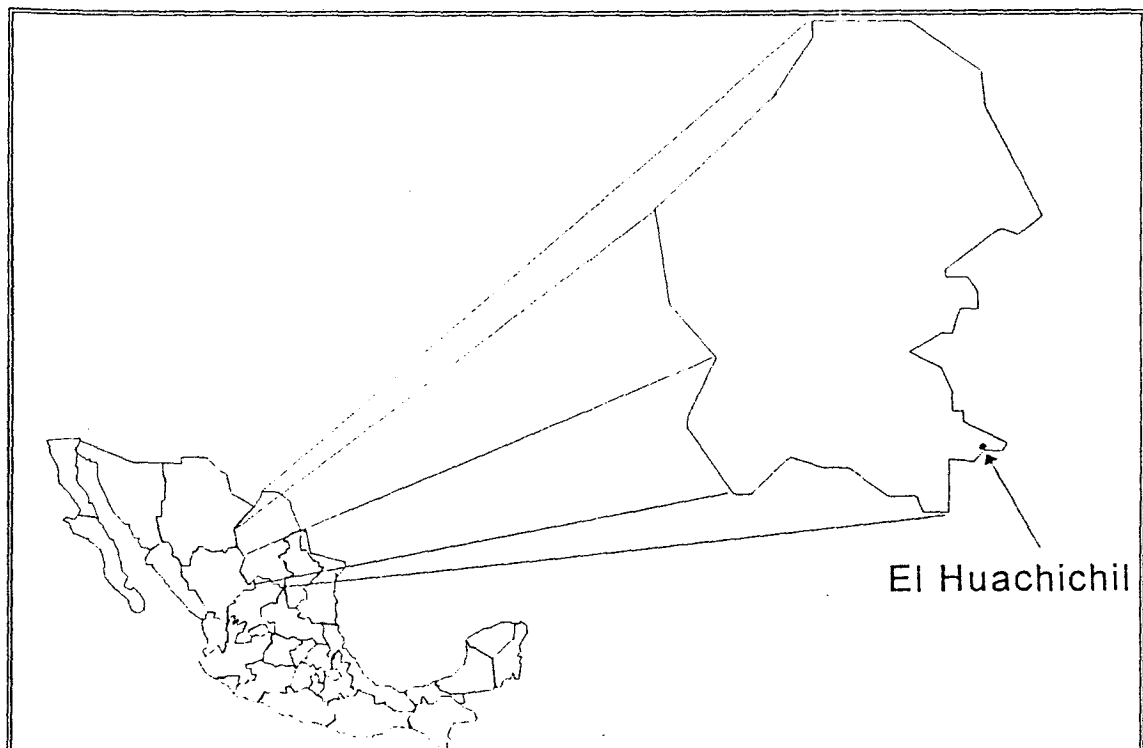


Figura 3.1 Ubicación del sitio experimental. El Huachichil, Coahuila.

Descripción del Area Experimental

La región de Huachichil está situada a 25° 15' 45" de latitud norte y 100° 47' 57" longitud oeste; con altitud de 1900 msnm.

Clima

En el área bajo estudio se localiza en una región cuyo clima es BS1kw(x')(e`) según la clasificación de Köpen modificada por García que lo define como un clima semiseco, templado con verano cálido muy extremo, teniendo una temperatura media anual de 12.7°C y la temperatura media del mes más frío está entre -3 y 18°C. Los meses más fríos son diciembre, enero, febrero y marzo, presentándose hasta 74 heladas al año en promedio. Las lluvias más abundantes son en julio y agosto alcanzando una precipitación promedio anual de 470.6 mm.

Suelos

Los suelos de esta región se clasifican como Castañosem háplico. Son suelos con una profundidad superior a 100 cm, con pendiente de 0 a 1 por ciento, de reacción alcalina, alto contenido de carbonatos, con un contenido de materia orgánica superior al 2 por ciento en los primeros 30 cm de profundidad, con una precipitación pluvial mayor de 350 mm, de acuerdo a tales

características y según la séptima aproximación (sistema americano) dentro del orden molisol, suborden ustolls y gran grupo argiustolls. (Cuadro 3.1)

Agua de riego

El agua utilizada para riego proviene de mantos acuíferos subterráneos y se extrae con bombeo eléctrico es considerada de buena calidad para el riego.

Cuadro 3.1 Análisis físico-químico del suelo a la profundidad de 0-40 cm antes del establecimiento del experimento. Huachichil, 1994.

| Características | Método | Unidades | Valor obtenido. |
|-------------------------|----------------------|-------------|---------------------|
| Densidad aparente | Probeta | (g/cc) | 1.08 |
| Densidad de sólidos | Picnómetro | (g/cc) | 2.40 |
| Espacio poroso | Calculado | (%) | 42.0 |
| Arena | Hidrómetro | (%) | 5.69 |
| Limo | Hidrómetro | (%) | 47.83 |
| Arcilla | Hidrómetro | (%) | 46.47 |
| Textura | Triángulo texturas | USDA | Arcilla limosa (RA) |
| Reacción del suelo | Potenciómetro | pH | 7.60 |
| Materia orgánica | Walkley/Black | (%) | 3.74 |
| Nitrógeno total | Calculado | (kg/ha) | 89.76 |
| Fósforo extractable | Olsen | (kg/ha) | 75.58 |
| Potasio intercambiable | Cobaltinitrito de Na | kg/ha) | 812.67 |
| Calcio | Titulación | (meq/l) | 7.42 |
| Magnesio | Titulación | (meq/l) | 2.17 |
| Carbonatos totales | NaOH 1 N | (%) | 28.02 |
| Conductividad eléctrica | Puente Wheatstone | dS/m | 1.1 |
| Cap. Intercambio Cat. | Calculado | (meq/100 g) | 30.71 |

Descripción de materiales

Descripción del bioactivador

Se utilizó Humitrón 50 G como bioactivador, este producto contiene 50 por ciento de ácido húmico, su presentación es en gránulos de color negruzco, fue proporcionado por el Grupo Bioquímico Mexicano.

Descripción del poliquel calcio

El poliquel calcio es un complejo multiquelutado de Ca y Mg, con B y Mo. La composición es la siguiente: Ca 10 por ciento, Mg 1.0 por ciento, B 0.5 por ciento y Mo 10 ppm. Se aplica al follaje.

Descripción del fertilizante potásico

La fuente de potasio para complementar los tratamientos en estudio fue el sulfato de potasio con 50 por ciento de K_2O . El producto es rojizo y la presentación es en polvo y gránulos pequeños.

Descripción del fertilizante magnesio

El sulfato de magnesio se utilizó para complementar los tratamientos de magnesio al 10 por ciento, la presentación es una sal en forma de cristales pequeños de color blanco.

Selección de tratamientos

El estudio se llevó a cabo en la combinación de cuatro factores: Humitrón 50 G (como bioactivador), poliquel calcio 10 por ciento, sulfato de potasio 50 por ciento y sulfato de magnesio 10 por ciento.

El bioactivador de suelo se utilizó como vehículo de transporte en la nutrición de la planta y como un mejorador indirecto de las propiedades físicas y químicas del suelo; el poliquel calcio se aplicó al follaje en la etapa de llenado de tubérculo, y el sulfato de potasio y magnesio respectivamente se aplicaron al suelo al momento de la siembra y el complemento al inicio de la tuberización.

El bioactivador, sulfato de potasio y sulfato de magnesio se aplicaron en banda a un lado de la planta y a 10 cm de profundidad en forma manual.

Diseño experimental y Distribución de los tratamientos.

Para este trabajo, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones; los tratamientos fueron diseñados bajo una baconiana modificada, con nueve tratamientos seleccionados de un total de 81 combinaciones, los tratamientos usados se muestran en los Cuadro 3.2 y 3.3.

Cuadro 3.2 Niveles estudiados de cada factor. Cañón Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila, 1994.

| Factores | Niveles | Clave |
|---------------------|-----------|-------|
| Humitrón G 50 | 0 kg/ha | SH 0 |
| | 50 kg/ha | SH 1 |
| | 100 kg/ha | SH 2 |
| Poliquel calcio | 3 lt/ha | Ca 0 |
| | 6 lt/ha | Ca 1 |
| | 9 lt/ha | Ca 2 |
| Sulfato de potasio | 150 kg/ha | K 0 |
| | 300 kg/ha | K 1 |
| | 450 kg/ha | K 2 |
| Sulfato de magnesio | 20 kg/ha | Mg 0 |
| | 25 kg/ha | Mg 1 |
| | 30 kg/ha | Mg 2 |

La dosis que aplica el agricultor fue la base o punto de partida para la selección de los tratamientos y se tomó como nivel medio para los cuatro factores en estudio y a partir del nivel medio se hicieron disminuciones al 50 por ciento para el nivel bajo y aumento del 50 por ciento del nivel medio para el nivel alto. En la Figura 3.2 se muestra la distribución de los tratamientos en campo.

La unidad experimental fue de 6.0 m de largo y 5.46 m de ancho, con una superficie de 32.76 m². Corresponden 6 surcos a cada unidad experimental, donde se sembró los tubérculos a una separación de 20 cm y a una profundidad de 12 cm. Se sembraron 4 bloques, con una superficie total del experimento de 1179 m². En cada bloque se aleatorizaron los tratamientos.

Cuadro 3.3 Lista de tratamientos reales para cuatro factores, correspondientes a la baconiana modificada, explorando (0-50-100), (3-6-9), (20-25-30) y (150-300-450), Kg/ha de Humitrón granulado 50, lt/ha de poliquel calcio, kg/ha de sulfato de magnesio y kg/ha de sulfato de potasio respectivamente. Cañón Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila. Primavera 1994.

| Tratamiento | Valor real, kg/ha | | | | Clave | | | |
|-------------|-------------------|----|----|-----|-------|------|------|------|
| | SH | Ca | Mg | K | a | b | c | d |
| 1 | 300 | 6 | 25 | 50 | K1 | Ca 6 | Mg 1 | SH1 |
| 2 | 150 | 6 | 25 | 50 | K0 | Ca 6 | Mg 1 | SH1 |
| 3 | 450 | 6 | 25 | 50 | K2 | Ca 6 | Mg 1 | SH1 |
| 4 | 300 | 3 | 25 | 50 | K1 | Ca 3 | Mg 1 | SH1 |
| 5 | 300 | 9 | 25 | 50 | K1 | Ca 9 | Mg 1 | SH1 |
| 6 | 300 | 6 | 20 | 50 | K1 | Ca 6 | Mg 0 | SH1 |
| 7 | 300 | 6 | 30 | 50 | K1 | Ca 6 | Mg 2 | SH1 |
| 8 | 300 | 6 | 25 | 00 | K1 | Ca 6 | Mg1 | SH0 |
| 9 | 300 | 6 | 25 | 100 | K1 | Ca 6 | Mg 1 | SH2. |

| | | | | | | | | | |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| REP I | 1 | 8 | 3 | 6 | 5 | 4 | 7 | 2 | 9 |
| REP II | 2 | 5 | 4 | 1 | 9 | 6 | 8 | 3 | 7 |
| REP III | 7 | 4 | 9 | 2 | 6 | 3 | 5 | 1 | 8 |
| REP IV | 5 | 1 | 3 | 7 | 4 | 8 | 9 | 2 | 6 |

Figura 3.2 Plano de campo y distribución de tratamientos mediante un diseño experimental bloques al azar. Cañón de Emiliano Zapata, Huachichil, Arteaga, Coahuila. Primavera de 1994.

Modelo estadístico del Diseño Experimental Bloques al Azar, utilizado en el ciclo 1994.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}; \quad i = 1, 2, \dots, t$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

E_{ij} se distribuye $N - 1 (0, \sigma^2)$

donde:

Y_{ij} = Variable dependiente (resultado observado de las características estudiadas) al tratamiento i en el bloque j .

μ = Media general (verdadero efecto medio).

T_i = efecto verdadero del i -ésimo tratamiento (contribución del tratamiento).

β_j = Efecto verdadero del j -ésimo bloque o repetición (contribución del bloque).

E_{ij} = Variable aleatoria o error experimental en el i -ésimo tratamiento (efecto de la unidad experimental) y que se distribuye normal con media cero y varianza constante (Steel y Torrie, 1985).

Los métodos de análisis realizados para ver la respuesta de las variables evaluadas al suelo y al cultivo son los siguientes.

1. Análisis de Varianza.
2. Correlación de las variables agronómicas.

3. Se realizaron cuadros y figuras para seguir la tendencia de los resultados.

Preparación del terreno

Las labores de preparación del terreno se realizaron en el mes de febrero y se dispuso de un terreno que no había sido sometido a irrigación por bombeo y que estaba dedicado a agricultura de temporal. Las labores consistieron de un desmonte, un subsuelo a tres cuartos de metro, un paso de rastra, un barbecho y dos rastras cruzadas.

Semilla

La semilla utilizada en el ciclo 1994 fue variedad Premier, proporcionada por el agricultor cooperante, categoría tercera, con las yemas semibrotadas al momento de sembrarla y un peso aproximado de 110-115 g en promedio. Se considera la variedad de ciclo corto (100 -110 días).

Tratamiento a la semilla

1. La semilla fue tratada con la siguiente mezcla de productos (cálculo para 25 toneladas de semilla).

| | |
|-------------------------|---------|
| Agua | 200.0 l |
| Ridomil (Metalaxil) | 1.0 kg |
| Tecto 60 (Thiabendazol) | 100.0 g |
| Agrimicin | 100.0 g |
| PCNB | 4.0 l |
| Triton (adherente) | 600 cc |

La semilla se deja durante 4 días a la luz difusa, después de reposar por 12 días del tratamiento anterior.

2. Tratamiento a la semilla al sembrarla.

| | |
|--------------------------|---------|
| Agua | 300.0 l |
| Furadan 350 (Carbofuran) | 7.0 l |
| Benlate (Benomilo) | 1.0 kg |
| Tecto 60 (Thiabendazol) | 1.0 kg |
| PCNB | 30.0 l |
| Biozyme | 0.5 l |

Siembra

La siembra se realizó en forma mecanizada el 27 de mayo de 1994. La semilla se depositó a cada 20 cm de distancia entre estas y a una profundidad de 12 cm. La máquina sembradora trabaja mediante un sistema computarizado para depositar la semilla en las dimensiones antes

mencionadas, esta máquina puede transportar 3000 kg de semilla para la siembra, 2000 kg de fertilizante y 2000 litros de solución como fumigante, por lo que en resumen efectúa las siguientes funciones de manera simultánea: Abre el surco, deposita la semilla (siembra), fertiliza, fumiga (asperja la semilla), contiene un depósito especial para aplicar Tecto 60 al suelo y también realiza la función de tapar la semilla en el surco una vez depositada.

Fertilización

Esta se llevó a cabo junto con la siembra y se aplicó la mitad de la dosis que el agricultor cooperante utiliza, esto para poder manejar los tratamientos en estudio como el potasio y magnesio que contiene la fuente empleada en esta parcela.

Para nitrógeno se utilizó 200 kg/ha, mientras que para fósforo se utilizaron 400 kg/ha y el caso del potasio se manejó en tres niveles (150-300-450 kg/ha), se incorporaron elementos secundarios y menores de acuerdo a la composición de la fuente utilizada.

Como fuentes complementarias se utilizó el sulfato de potasio al 50 por ciento, sulfato de magnesio al 10 por ciento de magnesio y poliquel calcio con 10 por ciento de calcio.

Se complementó con la fórmula 11-52-00 y 18-46-00 en los casos de nitrógeno y fósforo. Para este caso se realizó en forma manual en la costilla del surco, mismo procedimiento para los tratamientos con potasio y magnesio, esta aplicación se realizó al inicio de la formación de estolones (29 de junio de 1994). En el Cuadro 3.4 se presenta la concentración de los elementos de la fuente empleada.

Riegos

Los riegos se dieron por aspersión, con el sistema de Pivote central con intervalo variable debido a las lluvias, y con un tiempo de 10 horas (10 cm de lámina) iniciando el primero después de la siembra. Los riegos estuvieron a cargo del agricultor cooperante.

Cuadro 3.4 Concentración de elementos en la fuente de fertilizante aplicado al cultivo de la papa en el Cañón Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila, 1994.

| ELEMENTO | Por ciento |
|-----------|------------|
| Nitrógeno | 9.00 |
| Fósforo | 19.00 |
| Potasio | 14.00 |
| Calcio | 0.00 |
| Magnesio | 1.19 |
| Azufre | 12.00 |
| Boro | 0.05 |
| Cobre | 0.00 |
| Fierro | 0.33 |
| Manganeso | 0.02 |
| Zinc | 0.48 |

La aplicación del poliquel calcio 10 por ciento fue realizada a los 73 días después de la siembra cuando las plantas tenían una altura promedio de 60 cm de altura con mochila aspersora manual con boquilla semi abierta dirigida al follaje, en la etapa de llenado de tubérculo.

Labores de cultivo

Las labores realizadas al experimento estuvieron a cargo del agricultor cooperante. El 20 de junio de 1994 se realizó un deshierbe manual.

Control de plagas y enfermedades. Las principales plagas que se presentaron fueron la palomilla de la papa y la mosquita blanca. Las enfermedades fungosas más importantes que se controlaron fueron el Tizón temprano (*Alternaria solani*), Tizón tardío (*Phytophthora infestans*), Fusarium y Rhizoctonia. En el Cuadro 3.5 se presentan las plagas y enfermedades y su control.

Desvare

El desvare lo realizó el agricultor cooperante con el implemento llamado desvaradora que se conecta a la toma de fuerza del tractor.

Cuadro 3.5 Plagas y enfermedades, nombre científico, control, fórmula y dosis en el cultivo de papa para el Cañón Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila. 1994.

| PLAGAS | N. CIENTIFICO | CONTROL | FORMULA | DOSIS/HA |
|-----------------------|--------------------------------|--|--------------------|------------------------|
| Polomilla papa | <i>Phthorimaea operculella</i> | Tamaron (Metamidofos) | CE 600 | 1.5 l |
| Mosquita blanca | <i>Aleyrodidae</i> | Thiodan (Endosulfán) | CE 35 | 3.0 l |
| Pulgones | <i>Mizus persicae</i> | Vidate L(Oxamyl), Lanate (Methomyl) | L PH | 2.0 l 450 g |
| ENFERMEDAD | N. CIENTIFICO | CONTROL | FORMULA | DOSIS/HA |
| Tizón temprano | <i>Alternaria solani</i> | Captan Dyrene (Anilazina) | PH 50 PH 50 | 2.0 kg 2.0 kg/l |
| Tizón tardío | <i>P. infestans</i> | Manzate 200 (Mancozeb) Ricoil (Oxadixil + mancozeb) | PH 80 PH 66 | 1.0 kg 3.0 kh/l |
| Rhizoctonia solani | <i>R. solani</i> | Monceren 25 (Pencicuron) | PH | 5.0 kg |

Cosecha

Esta se llevó a cabo por medio de una cosechadora mecánica de dos surcos, el tubérculo fue recolectado por el agricultor cooperante sin permitir evaluar de acuerdo con lo programado en el presente experimento. Los objetivos del presente trabajo comprendía la cosecha de los dos surcos

entrales, clasificando los tubérculos por categoría y estimar el rendimiento por hectárea.

Evaluación de tratamientos

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron mediciones de número de tallos, altura de planta, materia seca, índice de área foliar, muestreo para análisis foliar, se tomó una planta del surco lateral por unidad experimental para evaluar el comportamiento de las plantas. Del suelo se hicieron muestreos compuestos a la profundidad de 0-40 cm para determinar algunas características físicas y químicas y evaluar el efecto del bioactivador. Además se tomaron muestras de hojas para análisis foliar.

Mediciones en planta

Para evaluar la respuesta de la planta a los tratamientos aplicados se seleccionó una planta al azar por cada tratamiento y repetición que sirvió además para predicción del rendimiento. La planta se extrajo con raíz y tubérculos del extremo de cada parcela; se depositaron en bolsas de plástico y se llevaron al laboratorio donde se evaluaron algunas características mencionadas a continuación:

Peso seco de raíz

El sistema radical fue cortado en el punto de intersección con el tallo, y se puso a secar en la estufa de circulación de aire a una temperatura de 70° C durante 24 horas. La parte de la raíz extraída no fue en su totalidad.

Peso seco de hojas y tallos

Para determinar la materia seca de las plantas recolectadas en los muestreos, se pusieron por separado las hojas y tallos en la estufa con circulación de aire a 70° C por un tiempo de 48 horas, hasta peso constante.

Peso del tubérculo

Este se realizó separando todos los tubérculos de cada una de las plantas muestreadas, los que fueron lavados y registrado su peso total.

Indice de Area foliar

Se tomó una planta al azar de una parcela no afectada por los tratamientos y se cortaron todas las hojas, se llevaron al Laboratorio de Fisiotecnia de la UAAAN y en el aparato electrónico para determinar áreas se calculó esta, posteriormente las hojas fueron secadas a la estufa a 75°C por 48

horas hasta peso constante y por regresión lineal simple se obtuvo la ecuación y se aplicó a todos los tratamientos en base a materia seca.

Altura de planta

Esta se determinó directamente en campo en tres plantas seleccionadas al azar de cada tratamiento y se evaluó desde la base del tallo hasta el extremo de la hoja más alta, obteniendo el valor promedio de las tres plantas. Esta medición se realizó en tres ocasiones.

Diagnóstico Nutricional

Para el diagnóstico nutricional, se utilizó la metodología del Sistema Integrado del diagnóstico y Recomendación (DRIS), desarrollado originalmente por Beaufils, de 1954-1973.

Se utilizó el nuevo índice: Desviación del Porcentaje Óptimo (DOP) propuesto por Montañés L., *et al.*(1993)

Muestreo y Análisis foliar

Se realizó un muestreo foliar en floración; las características tomadas para muestrear fueron hojas recién maduras, sanas y fotosintéticamente

activas. Se obtuvieron muestras compuestas de cada unidad experimental; las hojas de cada muestra fueron lavadas con agua destilada, agua más detergente al uno por ciento, con agua más ácido clorhídrico uno normal y nuevamente con agua destilada. Posteriormente, se colocaron en bolsa de papel perforado y se secaron a la estufa a 70° C durante 24 horas y fueron molidas en el mortero y colocadas en frascos correspondientes a cada tratamiento. El análisis foliar correspondiente se realizó en el laboratorio de la Sociedad Cooperativa de la Comarca Lagunera, Gómez Palacio, Dgo.

Este análisis se llevó a cabo con un espectrofotómetro de absorción atómica para los elementos P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y Cu.

Características medidas del suelo

Durante el desarrollo del experimento se realizaron dos muestreos de suelo con la barrena holandesa para la determinación de algunas características físicas y químicas del suelo; el primer muestreo se realizó antes de la siembra y el segundo muestreo después del desvare, ambos a la profundidad de 0-40 cm por considerarse la zona de mayor desarrollo radical.

Los análisis se hicieron del primer muestreo como base general para conocer las condiciones de suelo antes de la siembra. El segundo análisis se realizó de 36 muestras pertenecientes a cada tratamiento.

Las características analizadas fueron densidad aparente, densidad de sólidos, espacio poroso, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, reacción del suelo (pH), materia orgánica, nitrógeno total, fósforo aprovechable, potasio intercambiable, calcio soluble, magnesio soluble, carbonatos totales, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Características Físicas del Suelo

Densidad aparente (Da)

En las Figuras 4.1 y 4.2 se presentan los valores de densidad aparente, los cuales disminuyen al final del experimento en todos los tratamientos, el valor más alto se obtiene en el tratamiento $K_1-Ca_1-Mg_1-SH_0$ (ocho) donde contiene el nivel bajo de sustancias húmicas (0 kg/ha). En la Figura 4.2 que corresponde al promedio de los niveles de húmicos aplicados al suelo se observa que el valor más bajo corresponde al nivel alto de sustancias húmicas.

De acuerdo con el ANVA realizado no se encontró diferencia significativa al nivel del 0.05. En el Cuadro de medias se observa que los mejores tratamientos son el $K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$ (nueve), $K_1-Ca_1-Mg_2-SH_1$ (siete), $K_1-Ca_0-Mg_1-SH_1$ (cuatro) con 1.01 g/cc donde todos recibieron sustancias húmicas al suelo y el valor más alto se presenta en el tratamiento ocho $K_0-Ca_1-Mg_1-SH_1$ que no contiene húmicos con un valor de 1.05 g/cc.

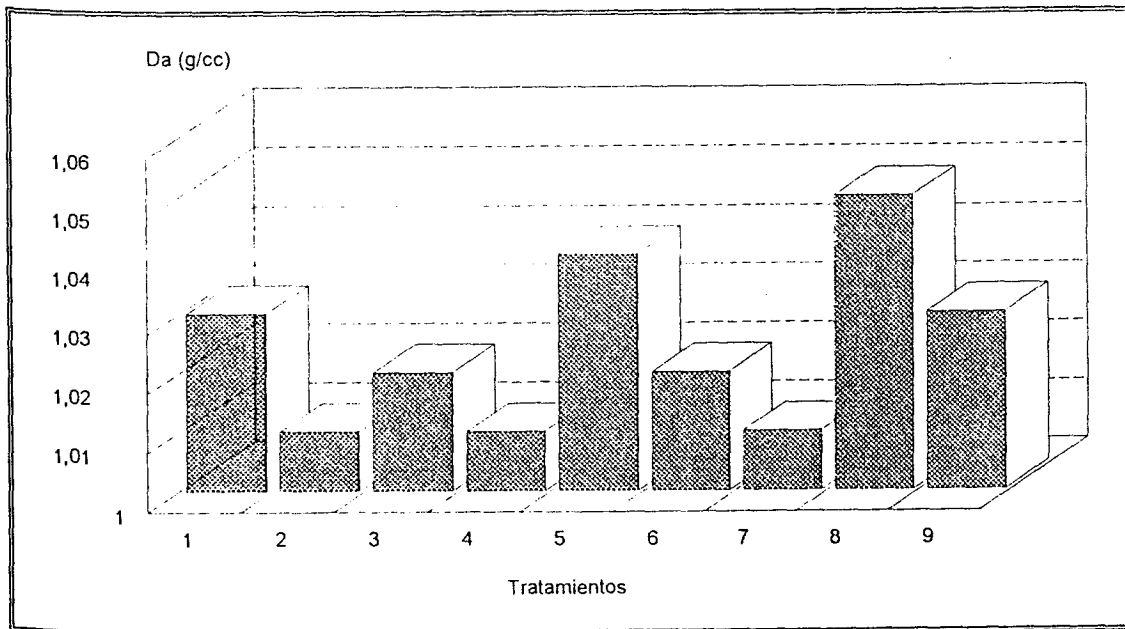


Figura 4.1 Densidad aparente después de cosechar, Huachichil, Coahuila.

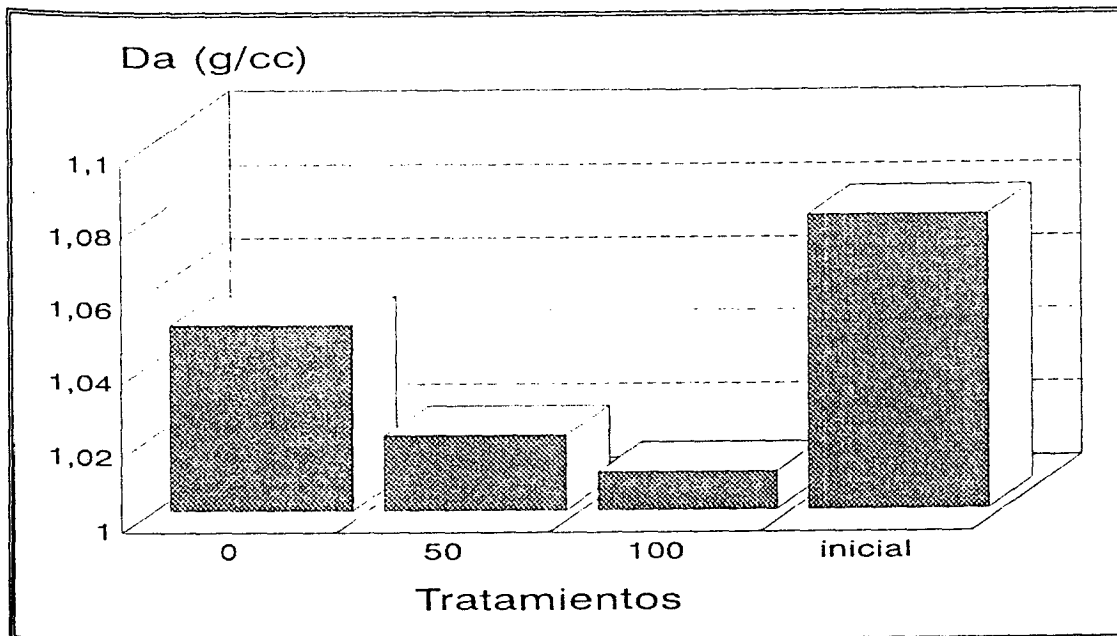


Figura 4.2 Densidad aparente promedio en relación al nivel de sustancias húmicas aplicadas al suelo, Huachichil, Coahuila.

Lo anterior coincide con Narro (1994), quien menciona que dentro de los efectos de la materia orgánica en las propiedades físicas del suelo, está la formación de agregados por su acción cementante y mejora la estabilidad estructural y reduce la densidad aparente. Coincide con Piccolo y Mbagwu (1994) y Kretzschmar *et al.* (1993), quienes mencionan que las sustancias húmicas aumentan la agregación y la estabilidad coloidal de arcillas, lo cual provoca disminución de la densidad de las partículas.

En base a lo anterior al reducir los valores de densidad aparente se modifican otras características físicas en el suelo como la estructura, facilidad de laboreo y otras que generan mejores condiciones para el crecimiento de los cultivos.

Materia orgánica

En las Figuras 4.3 y 4.4 se presentan los valores promedio del contenido de materia orgánica, el cual se incrementa al final del experimento en todos los tratamientos. En la Figura 4.4 se presentan los valores promedio de los niveles de sustancias húmicas aplicados al suelo, en todos los casos superan al valor inicial y el valor más alto se observa donde se aplicó el nivel alto de húmicos (100 kg/ha). La tendencia en cuanto al incremento de materia orgánica no es relevante.

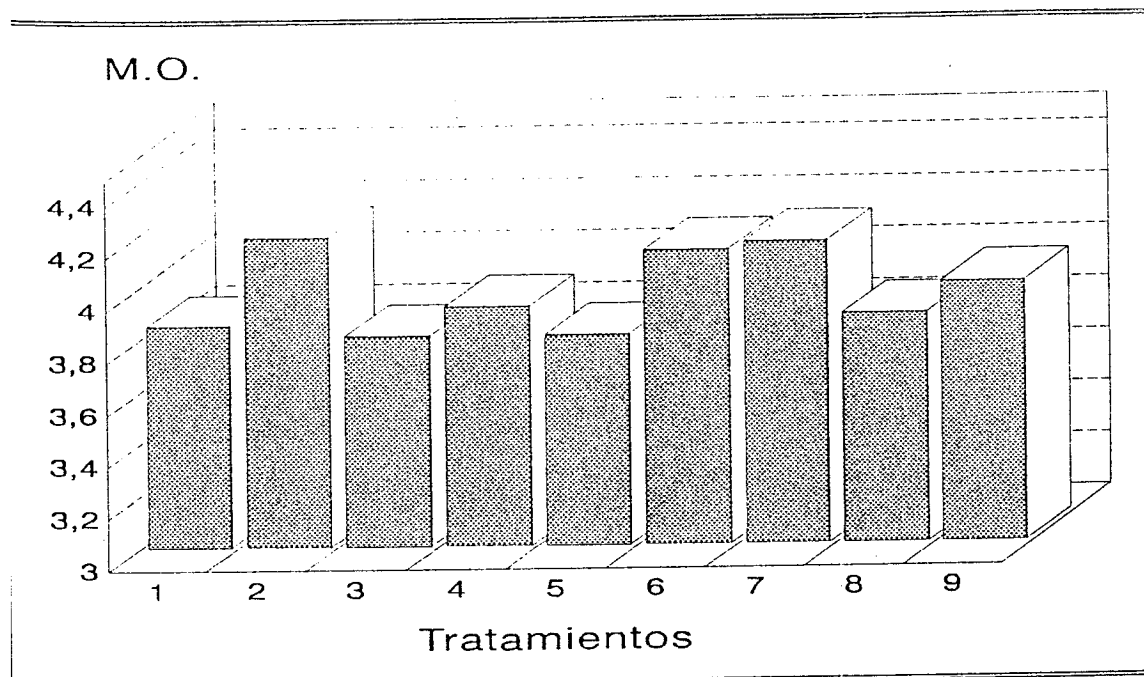


Figura 4.3 Materia Orgánica promedio por tratamiento, Huachichil, Coahuila.

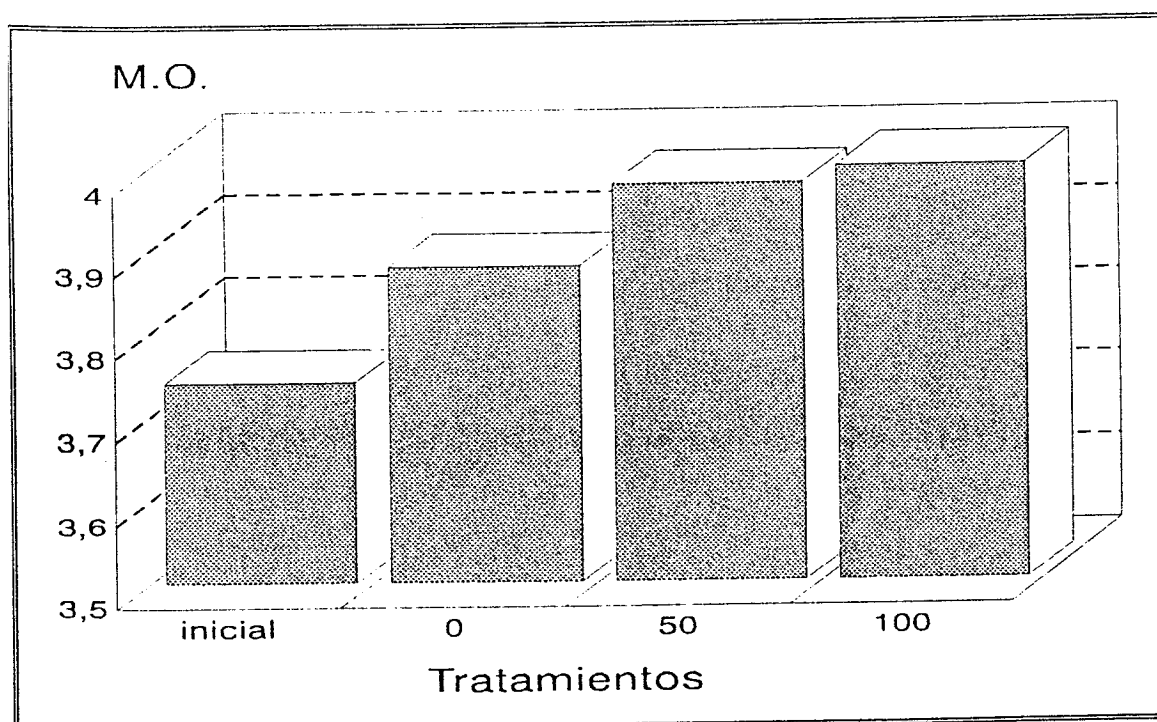


Figura 4.4 Materia Orgánica promedio por tratamiento en relación a los niveles de húmicos aplicados al suelo.

Existe correlación inversa entre los valores de materia orgánica y los valores de densidad aparente y se observa que al incrementar el contenido de materia orgánica disminuye la densidad aparente. El mayor incremento en promedio de los niveles de sustancias húmicas corresponde al nivel alto (100 kg/ha de humitrón 50 G) que se incrementó de 3.74 a 4.00 por ciento.

No se encontró diferencia significativa al nivel de 0.05, pero de acuerdo con el cuadro de medias se observa que la tendencia es similar en todos los tratamientos y en relación a los niveles de húmicos el mejor resultó ser el nivel alto con 100 kg/ha de humitrón.

Lo anterior concuerda con Buckman y Brady (1985) quienes mencionan que la fuente originaria de materia orgánica del suelo es el tejido vegetal y que las partes aéreas y raíces de plantas naturales proveen anualmente de grandes cantidades de residuos orgánicos. Vaughan *et al.* (1985) indican que la materia orgánica del suelo es el resultado de la degradación química y biológica y modificación de residuos de plantas y animales, que pueden ejercer una influencia directa sobre el crecimiento de las plantas y afecta muchos procesos metabólicos.

Dentro de los efectos de las sustancias húmicas es incrementar la densidad de raíces que al descomponerse incrementan el contenido de materia orgánica para mejorar los suelos en beneficio de los cultivos agrícolas.

Carbonatos totales

En la Figura 4.5 se presentan los valores promedio de carbonatos de los tratamientos y se observa que en todos los tratamientos existe una disminución de carbonatos al final del experimento a excepción del tratamiento nueve que contiene el nivel alto de sustancias húmicas donde el valor es de 28.97 por ciento por 28.02 del valor inicial. En la Figura 4.6 se presentan los valores promedio en relación a los niveles de sustancias húmicas utilizados en este experimento y se encontró que el nivel medio (50 kg/ha de humitrón 50 G) presenta el valor más bajo con 25.03 por ciento en promedio de los tratamientos aplicados.

Con respecto al ANVA no se encontró diferencia significativa al nivel de 0.05. El cuadro de medias muestra una disminución de carbonatos en todos los tratamientos con el nivel medio de húmicos, para el tratamiento nueve se observa un ligero incremento en relación al valor inicial.

Lo anterior coincide con Vega (1987) quien menciona que con la incorporación de sustancias húmicas ocurre solubilización de la caliza activa, que incrementa los carbonatos solubles que precipitan a horizontes inferiores. De igual manera Van-der-Watt (1991) y Schentzer y Poapst (1967) indican que las sustancias húmicas aplicadas al suelo generan reacciones con los compuestos del suelo, los cuales pueden movilizar y formar complejos con

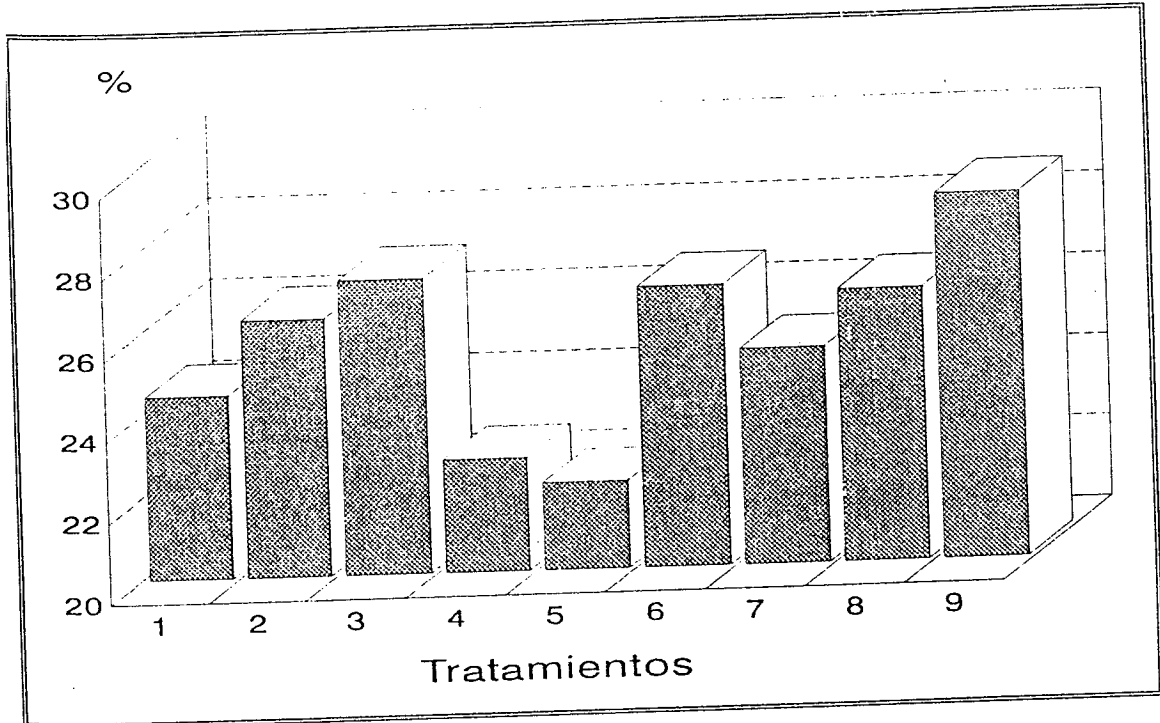


Figura 4.5 Carbonatos promedio por tratamiento, Huachichil, Coahuila.

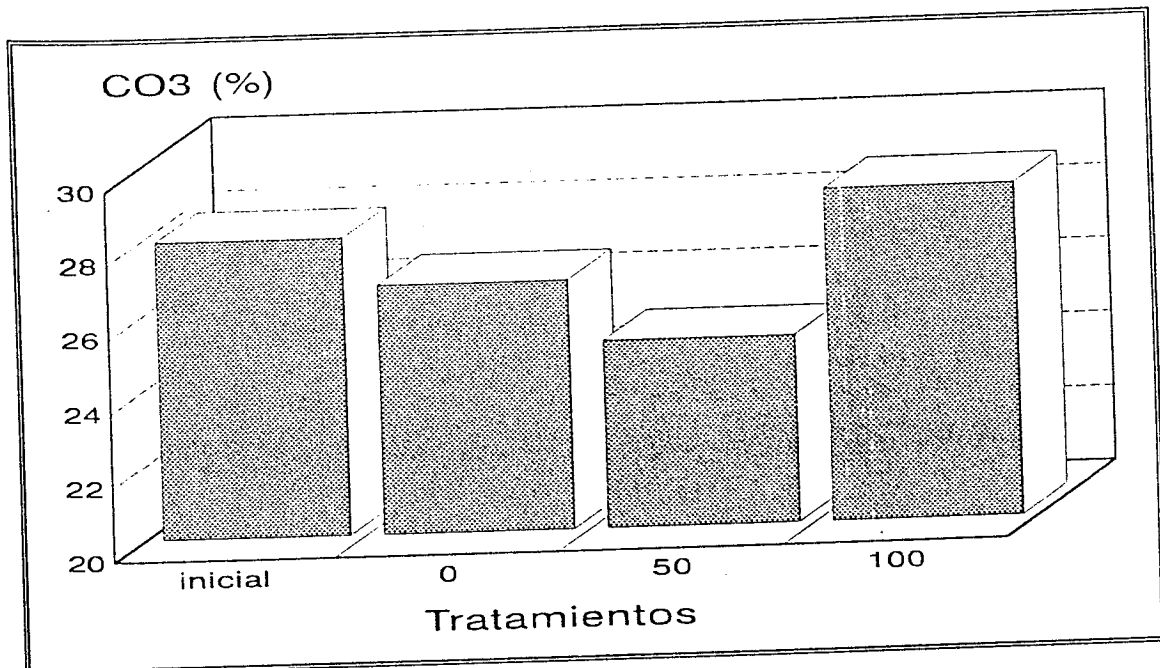


Figura 4.6 Carbonatos en relación a los niveles de sustancias húmicas aplicadas al suelo, Huachichil, Coahuila.

metales, entre estas reacciones se considera la solubilización de caliza activa para formar complejos de calcio y otros cationes, por lo tanto formar carbonatos que pueden precipitar de acuerdo con las condiciones del suelo.

Al incrementar las sustancias húmicas al suelo genera mayor concentración de carbonatos ya que estas solubilizan mayor cantidad de caliza, pero los carbonatos no precipitan en su totalidad a horizontes inferiores en la misma proporción como ocurre con el nivel medio de húmicos.

Conductividad eléctrica (CE)

En la Figura 4.7 se presentan los valores promedio de los tratamientos de la CE y se aprecia un incremento al final del experimento en todos los tratamientos, el valor más alto se obtiene al aplicar los niveles medios para cada factor y donde se aplicó el nivel alto de humitrón 50 G, seguido del tratamiento que no recibió humitrón 50 G, que corresponde al nivel bajo para este factor.

El análisis de varianza al nivel de 0.05 presenta diferencia significativa entre tratamientos y de acuerdo con el cuadro de medias se observa que el valor más alto de CE se encontró en el tratamiento uno con 3.3, seguido del tratamiento nueve con 3.05 dS/m.

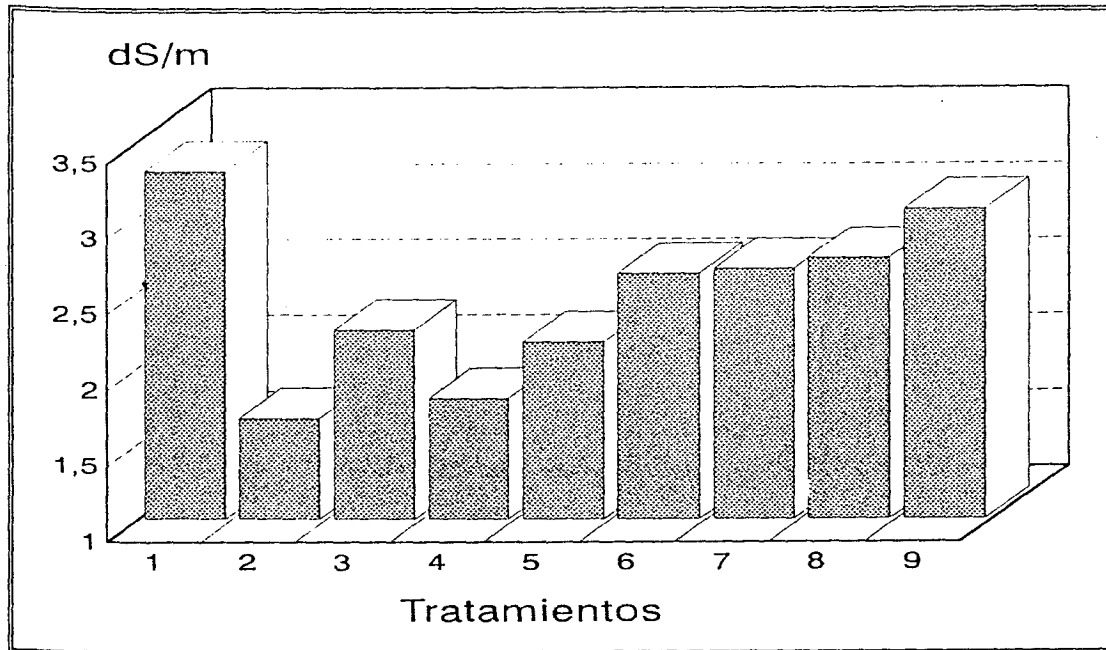


Figura 4.7 Conductividad eléctrica promedio del suelo al final del experimento, Huachichil, Coahuila

Alguna literatura menciona que las sustancias húmicas combaten la salinidad (Omega, 1989), pero los resultados promedio de los tratamientos muestran lo contrario, ya que hubo un aumento en la CE en los tratamientos donde se aplicó ácido húmico al suelo, lo cual coincide con Furcal (1989), que de acuerdo con sus resultados, donde aplicó sustancias húmicas al suelo incrementaron la conductividad eléctrica.

Los valores de CE se consideran dentro de un rango no salino para la producción de los cultivos, el aumento en la conductividad se considera que ocurre por la acción de los húmicos en desbloquear algunos compuestos insolubles.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

En la Figura 4.8 se observan los valores promedio de CIC por tratamiento. En la Figura 4.9 se presentan los valores promedio de CIC en relación a los niveles de húmicos aplicados al suelo, todos superan al valor inicial y el valor más alto en promedio se obtiene con el nivel alto de húmicos. No se encontró diferencia significativa al nivel del 0.05 para los tratamientos y los valores son similares.

Al respecto Narro (1995) menciona que dentro de los efectos favorables de los húmicos en los suelos agrícolas está el incremento en la capacidad de intercambio catiónico. Esto concuerda con Dekock (1955) quien menciona que dentro de los efectos de estas sustancias está el de incrementar el intercambio catiónico e incrementar la fertilidad natural al hacer más disponibles los nutrimentos.

Los valores de CIC se calcularon tomando en consideración los valores de arcilla y materia orgánica, por lo que esta presenta una correlación directa con el contenido de materia orgánica. De acuerdo con el tipo de arcillas por su carga y empaquetamiento presentarán valores entre 1 y 150 meq/100 g de suelo y la materia orgánica oscila entre 200 y 900 meq/100 g y de esta el 55 por ciento se debe a carboxilos, el 35 por ciento a grupos fenólicos y enólicos y el 10 por ciento a grupos amida. La CIC de la materia orgánica y la de la arcilla

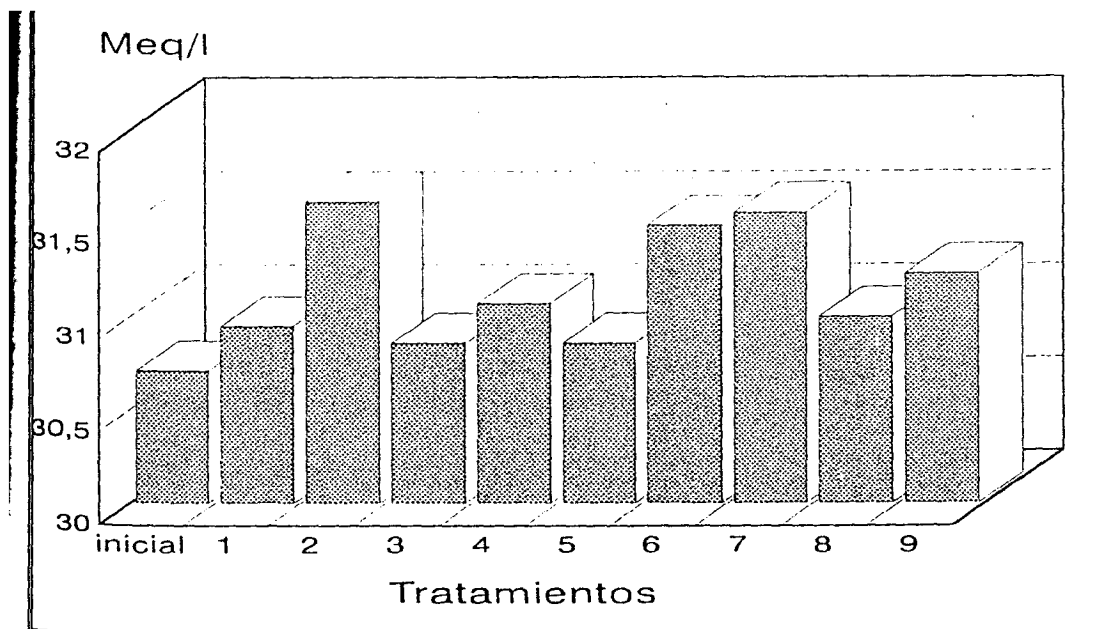


Figura 4.8 Capacidad de intercambio catiónico promedio por tratamiento al final del experimento, Huachichil, Coahuila.

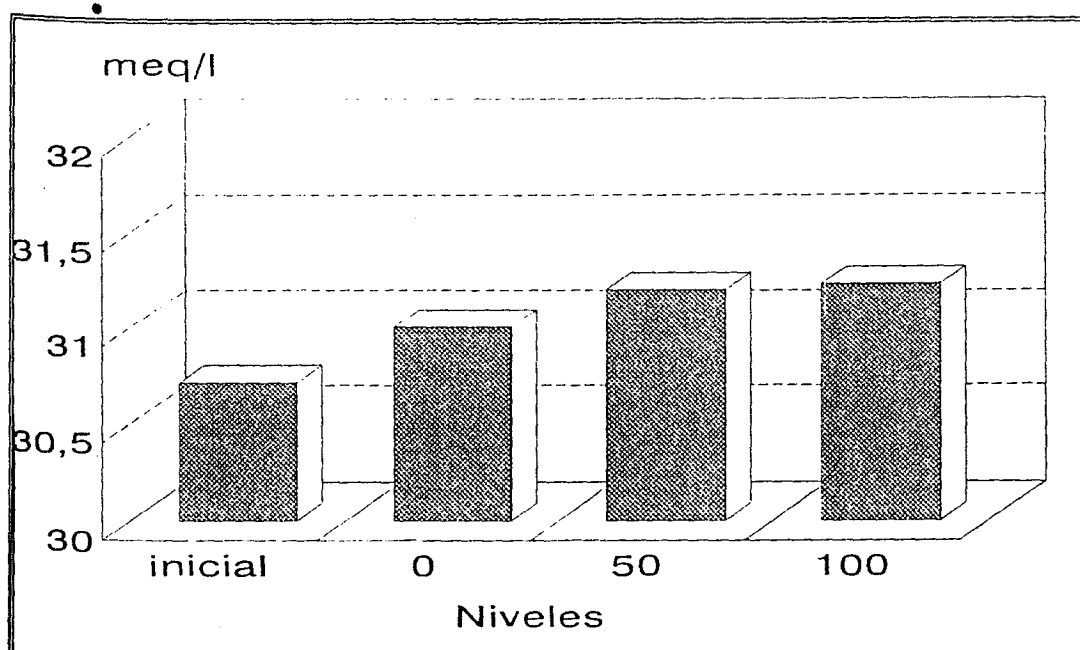


Figura 4.9 Capacidad de intercambio catiónico promedio en relación a los niveles de sustancias húmicas en el suelo cultivado con papa, Huachichil, Coahuila.

excede a la de la mezcla debido a las interacciones arcilla - materia orgánica, de tal forma que no es posible extraerlos por los métodos extractantes comunes (Carbonero, 1985)

Nitrógeno aprovechable

En la Figura 4.10 se presentan los valores promedio de nitrógeno total al final del experimento. Se puede observar un ligero aumento en la cantidad de nitrógeno en los tratamientos en los cuales se aplicaron sustancias húmicas, además se incrementa el nitrógeno con respecto al valor previo a la siembra.

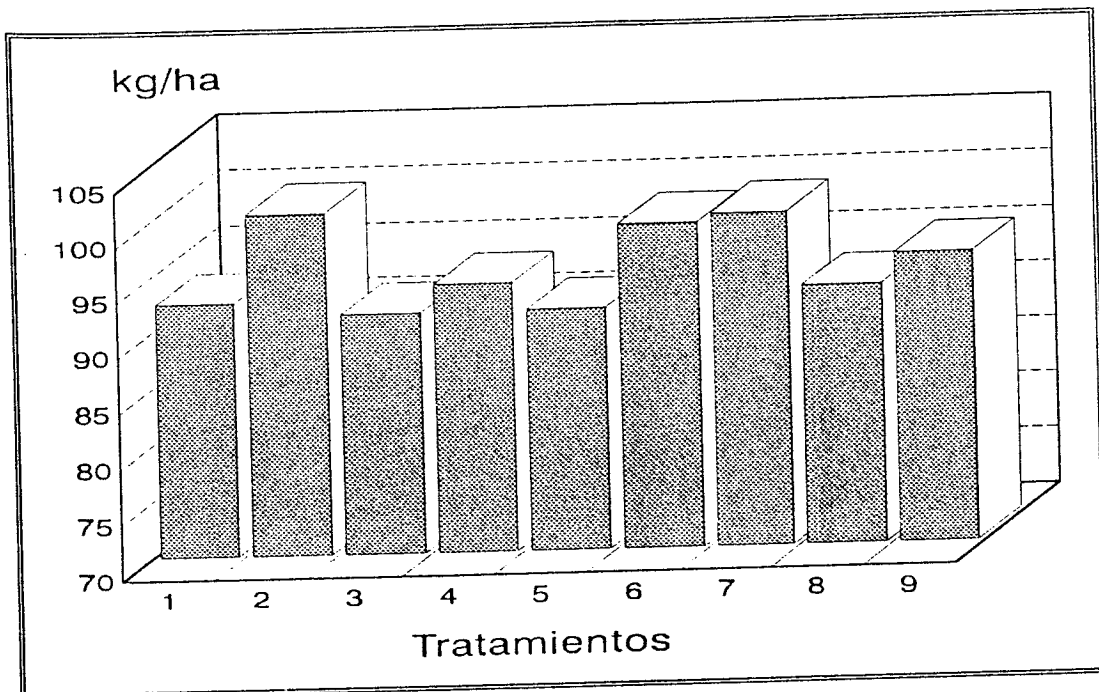


Figura 4.10 Nitrógeno promedio en el suelo por tratamiento al final del experimento, Huachichil, Coahuila.

No se encontró diferencia significativa al nivel de 0.05. De acuerdo con el cuadro de medias todos los valores superan al valor inicial.

McDole *et al.* (1991) mencionan que el nitrógeno incrementa la actividad microbiana para la descomposición del carbón orgánico y la mineralización del nitrógeno del suelo.

Las sustancias húmicas participan en la mineralización de nutrientes inmovilizados, además de incrementar la población de microorganismos aeróbicos saprófitos en el suelo.

El nitrógeno se calculó en base a la materia orgánica por lo que presentan una correlación directa.

Fósforo aprovechable

En la Figura 4.11 se presentan los valores promedio por tratamiento para fósforo y se aprecia una tendencia similar para el caso de nitrógeno. No se observa un efecto claro con respecto a los tratamientos utilizados.

En el ANVA realizado no se encontró diferencia significativa entre tratamientos, para fósforo, entre bloques se encontró diferencia altamente significativa al nivel de 0.05, en el cuadro de medias se aprecia que el

tratamiento tres presenta el valor más bajo con 91.42 kg/ha, pero superior al valor inicial, en este tratamiento se tiene el nivel alto de potasio y los niveles medios para los demás factores.

En base a lo anterior Omega (1989) menciona que al adicionar sustancias húmicas se mejora la asimilación de este nutrimento, pero en el análisis del suelo se presenta un incremento de este nutrimento y el análisis foliar indica un nivel suficiente de acuerdo con los niveles propuestos por Jones, Wolf y Mills (1991).

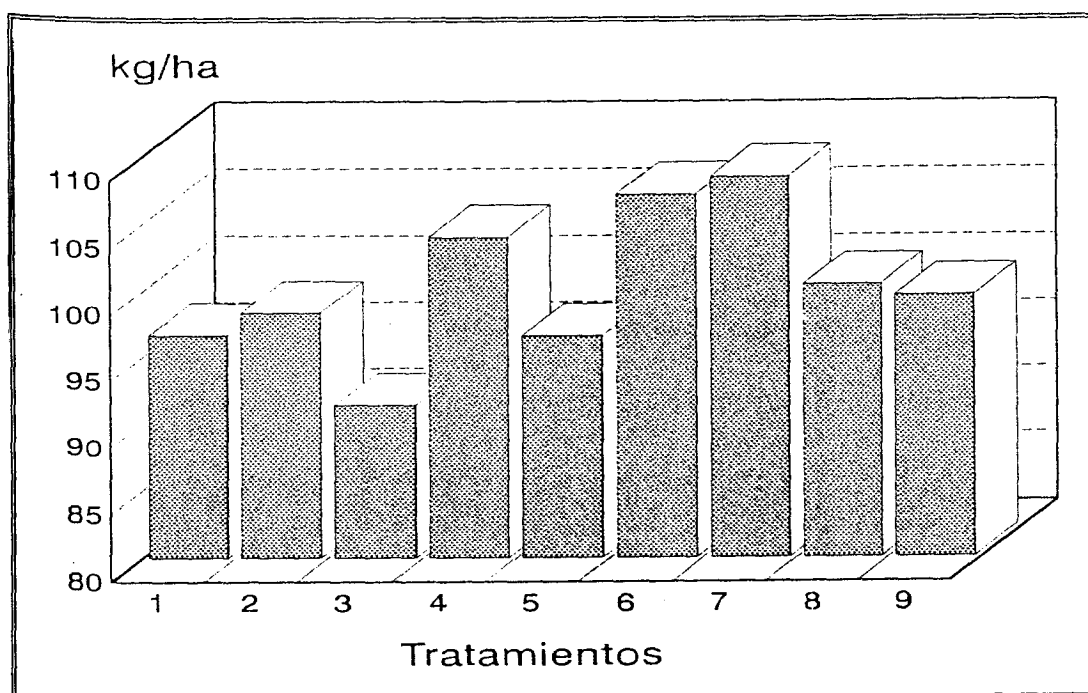


Figura 4.11 Fósforo promedio del suelo por tratamiento al final del experimento, Huachichil, Coahuila.

Los excesos del fertilizante fosfórico que se aplican para este cultivo, su baja movilidad en el suelo y porque las raíces no llegan a la bolsa de fertilizante provoca baja eficiencia en este tipo de suelos y provoca la obtención de valores superiores al valor inicial.

Potasio intercambiable

En la Figura 4.12 se presentan los valores promedio por tratamiento de potasio, calcio y magnesio del muestreo realizado al suelo y se observa un incremento de potasio al final del experimento, en los casos donde se aplicó diferentes cantidades de sulfato de potasio no se aprecian diferencias considerables de acuerdo con los tres niveles utilizados. En todos los casos donde se aplicó humitrón 50 G se aprecia un incremento de potasio intercambiable. El valor inicial para potasio es de 812.67 kg.

De acuerdo con la Figura 4.13 donde se correlacionan los niveles de potasio con los niveles de sustancias húmicas aplicadas al suelo y estas con el rendimiento de tubérculo y con la producción de materia seca se encontró lo siguiente:

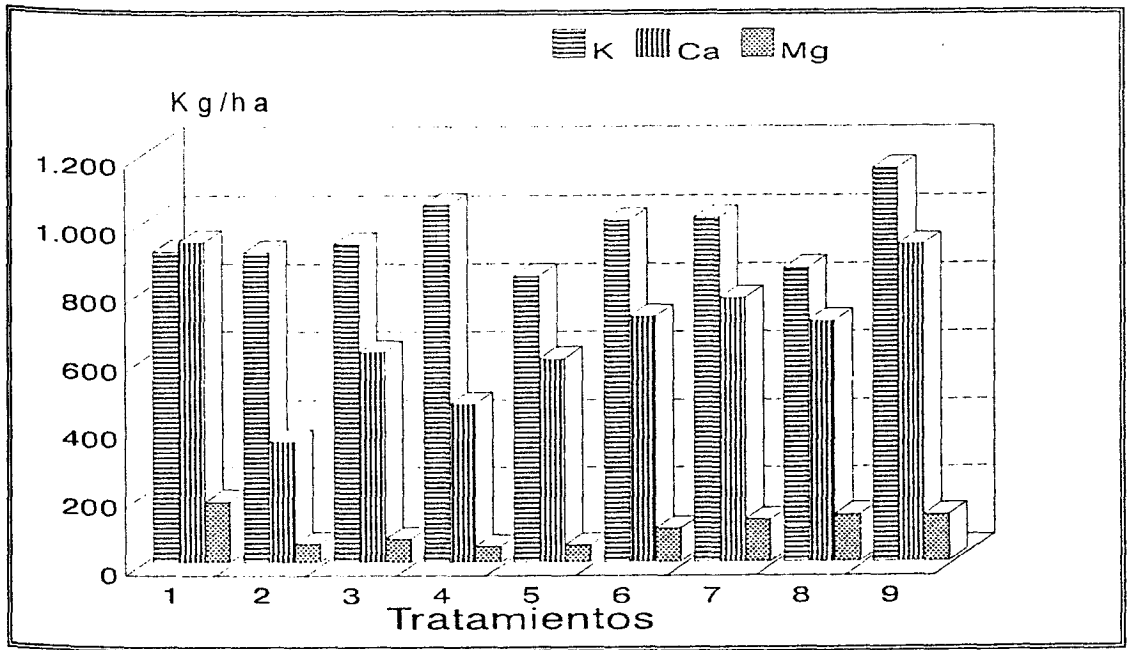


Figura 4.12 Potasio, calcio y magnesio en suelo al final del experimento, Huachichil, Coahuila.

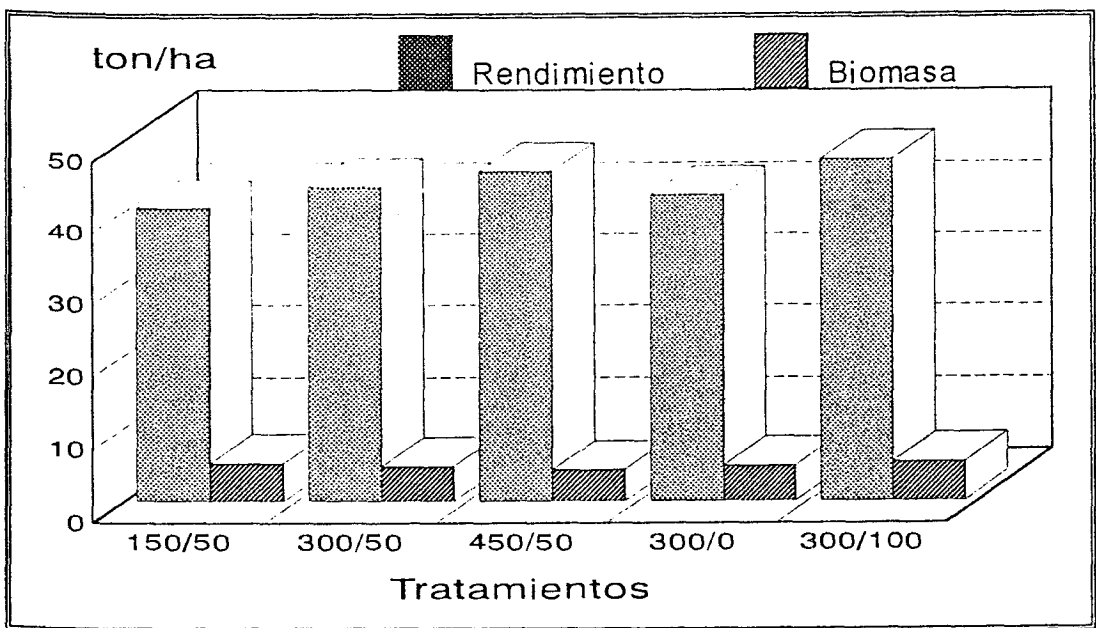


Figura 4.13 Niveles potasio-húmicos en el suelo y su relación con el rendimiento y producción de biomasa, Huachichil, Coahuila.

En la relación de los niveles de potasio-humitrón con el rendimiento de tubérculos se observa que al mantener el nivel medio de sustancias húmicas (50 kg/ha), variando los niveles de potasio (150, 300 y 450 kg/ha), los promedios en rendimiento de tubérculo mantienen una tendencia ascendente, esto es que con un mismo nivel de humitrón e incrementando la cantidad de potasio al suelo, el rendimiento de tubérculo se incrementa, sin lograr el rendimiento más alto el presente estudio.

En relación al rendimiento con los niveles de humitrón 50 G (0, 50 y 100 kg/ha) y manteniendo el nivel medio de potasio aplicado al suelo (300 kg/ha) se observa que con el nivel bajo de humitrón 50 G se obtiene el rendimiento más bajo de tubérculo cosechado y al incrementar la cantidad de sustancias húmicas al suelo, nivel alto (100 kg/ha de humitrón 50 G) y manteniendo el nivel medio de potasio, el rendimiento de tubérculo se incrementa, obteniendo el valor más alto de todos los tratamientos, la producción de biomasa presenta una tendencia similar.

No se encontró diferencia significativa al nivel del 0.05 para potasio y de acuerdo a los valores promedio se encontró que el tratamiento ocho presenta el valor más bajo el cual no recibió aplicaciones de húmicos.

Existe considerable evidencia que tanto el N como el K influyen los rendimientos y calidad de la papa al respecto Westermann *et al.* (1994) indica

que la gravedad específica del tubérculo depende de la concentración de potasio, sin importar la fuente y que el contenido de agua en este depende del K. Buckman y Brady (1985) mencionan que cuando el humus coloidal se satura con iones hidrógeno, el humus actúa como ácido ordinario reacciona con minerales del suelo (K, Ca y Mg), el humus realiza una transferencia y las bases afectadas son liberadas y asimiladas por las plantas superiores.

Lo anterior coincide con Anderson *et al.* (1992) quien menciona que altas aplicaciones de potasio desde 125 a 200 kg/ha incrementan la tasa de crecimiento vegetativo, para el caso particular de cereales la materia seca aumentó en un 15 por ciento y el rendimiento en un 10 por ciento. Jensen *et al.* (1992) indica que las aplicaciones altas de potasio pueden acumularse en la vacuola causando absorción osmótica del agua, provocando turgencia celular e induce alargamiento celular, Steudle *et al.* (1977) menciona que las sales de potasio influyen sobre el potencial osmótico, turgencia y tamaño en la célula, y módulos de elasticidad de los tejidos para incrementar el volumen de las células y esto permite incrementar la biomasa de las plantas.

Calcio soluble

En la Figura 4.12 también se aprecian los valores promedio de tratamientos de calcio en el suelo, se aprecia un incremento en el calcio soluble para todos los tratamientos, el valor inicial es de 228.96 kg/ha, no se realizaron

aplicaciones directas de calcio al suelo, estas se realizaron vía foliar por lo que los valores obtenidos no se consideran como resultado de los tratamientos. En la Figura 4.14 se correlacionan los valores calcio-húmicos con relación al rendimiento de tubérculos y producción de biomasa, se observa que con el nivel bajo de poliquel y nivel alto de húmicos se incrementan estos parámetros.

Se encontró diferencia significativa entre tratamientos al nivel de 0.05 y de acuerdo con el cuadro de medias los tratamientos uno ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_1$) y nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) presentan los valores más altos de calcio soluble, en ambos tratamientos se aplicaron sustancias húmicas.

La correlación entre poliquel calcio y sustancias húmicas con el rendimiento de tubérculo se encontró que este disminuye a medida que se incrementa el nivel de poliquel calcio manteniendo el nivel medio de humitrón 50 G y los niveles medios de los demás factores. Con el nivel bajo de poliquel calcio (3 lt/ha) y nivel alto de sustancias húmicas se obtiene un rendimiento de 47.44 ton/ha, por lo anterior las sustancias húmicas combinadas con los demás factores incrementan el rendimiento de tubérculos.

En relación a la producción de materia seca, se tomó en consideración los tres niveles de calcio aplicados a el follaje en combinación con el nivel medio de sustancias húmicas (50 kg/ha de humitrón 50 G) se encontró que al aplicar el nivel bajo de poliquel calcio (3 lt/ha) se tiene el valor

mas año de producción de materia seca con 0.40 t/ha, y al incrementar la cantidad de poliquel calcio y manteniendo el nivel medio de sustancias húmicas se tiene una disminución en la producción de materia seca.

En relación a lo anterior concuerda con lo mencionado en los trabajos de los siguientes autores: Slack y Morrill (1972) mencionan que las aplicaciones de sulfato de calcio, generalmente incrementan los rendimientos, pero la fertilización con calcio tienen una baja eficiencia en la absorción por los frutos de un 2 a 3 por ciento, Bledsoe *et al.* (1949) mencionan que el calcio en la nutrición es el mayor factor limitante para producción de (*Arachis hipogea L.*) en muchas regiones del mundo. Asimismo el contenido de humus es uno de los factores mas importantes que determinan la productividad de un suelo que entre otras cosas incrementan la eficiencia en la aplicación de fertilizantes y mejoran la nutrición de las plantas (Ballag y Loll, 1983; Flaig *et al.*, 1977). Vaughan *et al.* (1985) mencionan que las sustancias humicas ejercen un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas y afecta muchos procesos metabólicos.

Por lo anterior se considera que el calcio en combinación con las sustancias húmicas al suelo incrementan el rendimiento de tubérculos y producción de materia seca.

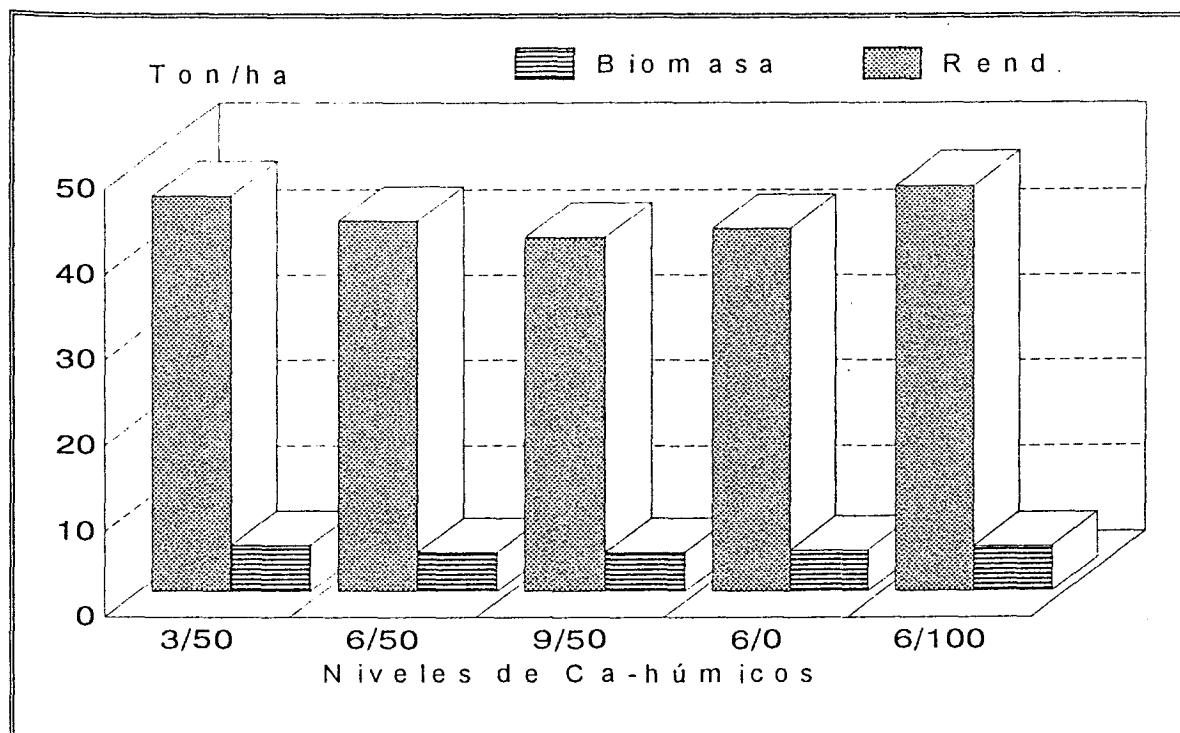


Figura 4.14 Calcio-húmicos con relación al rendimiento de tubérculos y producción de biomasa, Huachichil, Coahuila.

Magnesio soluble

En la Figura 4.12 también se aprecian los valores promedio por tratamiento de magnesio soluble en suelo al final del experimento y para todos los tratamientos se encontró que se encuentra presente en bajas cantidades, superó en todos los casos al valor inicial.

En el análisis de varianza realizado al nivel del 0.05 se encontró diferencia significativa entre tratamientos y de acuerdo con el cuadro de medias el tratamiento uno (K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_1) que contiene los niveles medios para cada factor presentó el valor más alto.

No se observa correlación con los demás parámetros medidos, más bien se aprecia un desbalance con los cationes calcio y potasio. El desbalance existente en el suelo de calcio, potasio y magnesio de acuerdo con los análisis de laboratorio realizados y sobre todo por el contenido de magnesio es difícil que éste sea tomado por las plantas en cantidades suficientes, ya que se presenta una deficiencia de éste en los tejidos de las plantas, de acuerdo con el análisis foliar ya que el valor obtenido es inferior a 0.6 por ciento en base a los niveles propuestos por Jones, Wolf y Mills (1991).

Por otra parte es importante mencionar que los niveles aplicados al suelo de magnesio son bajos para lograr un balance temporal entre estos tres cationes, esto concuerda con lo mencionado por los autores antes citados en que algunos científicos del suelo proponen un porcentaje ideal de saturación en el complejo de intercambio del suelo de 65 a 75 por ciento para calcio, 10 a 15 por ciento para magnesio y 2.5 a 7 por ciento para potasio, por lo que en el presente trabajo predomina el calcio y potasio sobre el magnesio se considera de esta manera un desbalance en el suelo.

Warman (1991) utilizó niveles de 54 y 162 kg de Mg/ha, que equivalen a 555 y 1665 kg de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ /ha respectivamente en un suelo con pH de 6.5 y encontró que influyeron positivamente en el rendimiento de espárrago. Se ha observado que los efectos de la aplicación de magnesio al suelo son principalmente en suelos ácidos como lo menciona Gallaher *et al.* (1975) donde

fertilizaron con magnesio en un suelo ácido (pH 4.3 - 4.7) y encontró que un incremento en rendimiento de grano de sorgo híbrido.

Por lo anterior se debe considerar que las aplicaciones de magnesio deben ser de preferencia al follaje para este tipo de suelos y así complementar los requerimientos de este elemento.

Mediciones en planta

Altura de planta (cm)

En la Figura 4.15 se presentan los valores promedio por tratamiento de altura de planta registrados en tres mediciones correspondientes a los 33, 55 y 84 días después de la siembra.

Se observa que la primer medición no se manifiesta un efecto claro de los tratamientos, sin embargo, los valores más altos se obtienen en los tratamientos uno ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_1$), tres ($K_2-Ca_1-Mg_1-SH_1$), seis ($K_1-Ca_1-Mg_0-SH_1$) y nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) con 31.75, 31.58, 31.08 y 31.08 cm, respectivamente, mientras que el tratamiento nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) presenta el valor más bajo con 29.16 cm, el cual corresponde a los niveles medios para cada factor y nivel alto de sustancias húmicas.

En la segunda medición (84 días) el valor más alto se obtiene en el tratamiento nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) con 56.26 cm que contiene el nivel alto de

húmicos y niveles medios para los demás factores.

Los valores más altos en promedio para altura de planta de acuerdo con los niveles de sustancias húmicas, se obtienen donde se aplica el nivel alto de humitrón 50 G (100 kg/ha).

De acuerdo con el análisis de varianza al nivel de 0.05 se encontró diferencia significativa para la primer medición y para la segunda medición no se encontró significancia.

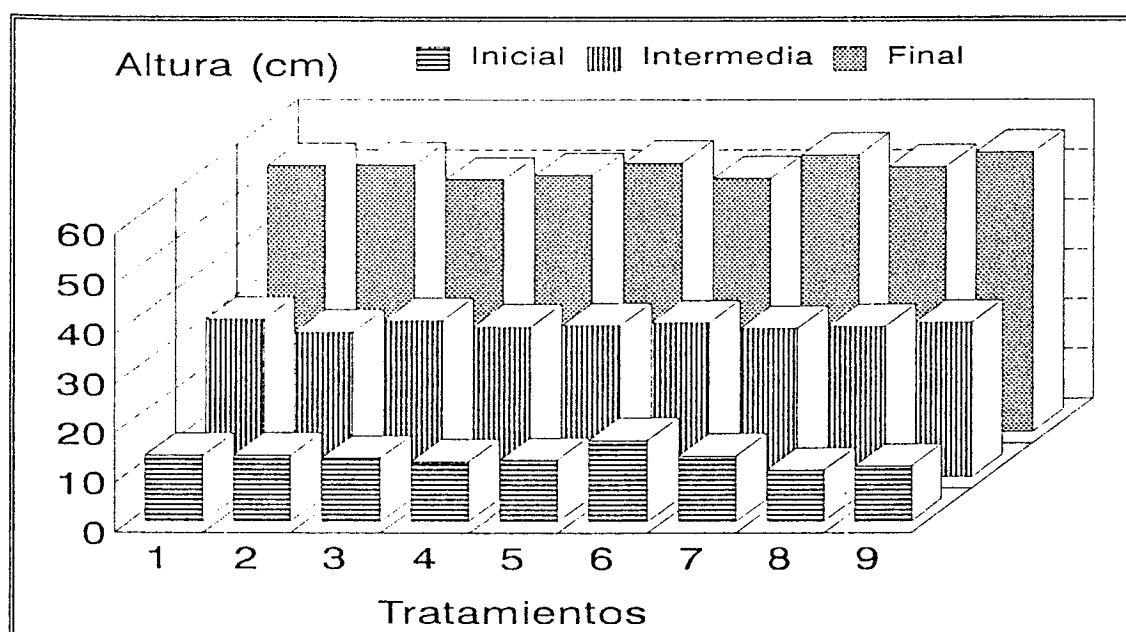


Figura 4.15 Altura de planta en el cultivo de papa en tres mediciones. Huachichil, Coahuila.

Número de tallos por planta

En la Figura 4.16 se presentan los valores promedio por tratamiento de número de tallos por planta y los valores más altos se obtienen en los

tratamientos uno ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_1$) y dos ($K_0-Ca_1-Mg_1-SH_1$) con 9.50 y 3.00 respectivamente.

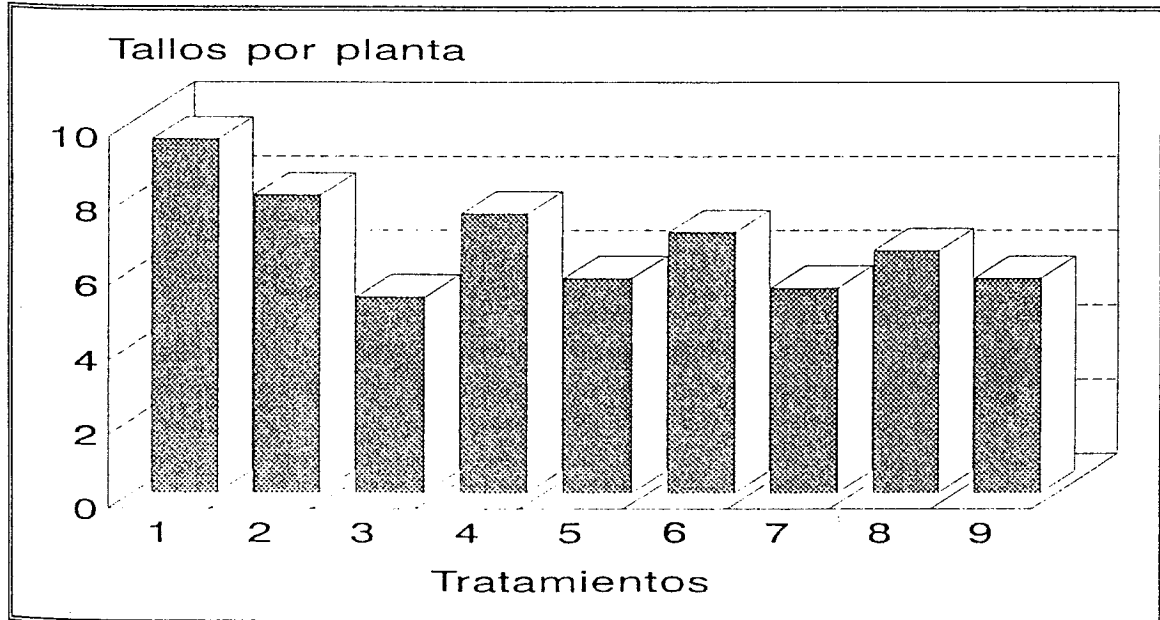


Figura 4.16 Tallos por planta en el cultivo de papa. Huachichil, Coahuila.

Al correlacionar esta variable con el rendimiento se puede observar que los valores más altos no corresponden a los rendimientos más altos de tubérculo. Para los casos de 5.75, 7.50 y 5.25 tallos por planta de los tratamientos nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$), cuatro ($K_1-Ca_0-Mg_1-SH_1$) y tres ($K_2-Ca_1-Mg_1-SH_1$) presentan los valores más altos de tubérculos con 47.44, 46.25 y 45.77 ton/ha respectivamente. De acuerdo con estos resultados se aprecia que para este material vegetativo y mismas condiciones el número ideal de tallos por planta varía entre cinco y siete.

Número de tallos por metro lineal

En la Figura 4.17 se presentan los valores promedio por tratamiento de número de tallos por metro lineal y se aprecia que los valores más altos se obtienen en los tratamientos cuatro ($K_1-Ca_0-Mg_1-SH_1$) y uno ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_1$) con (31.75 y 30.75) respectivamente, mientras que en el tratamiento nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) se tiene un valor de 26.75.

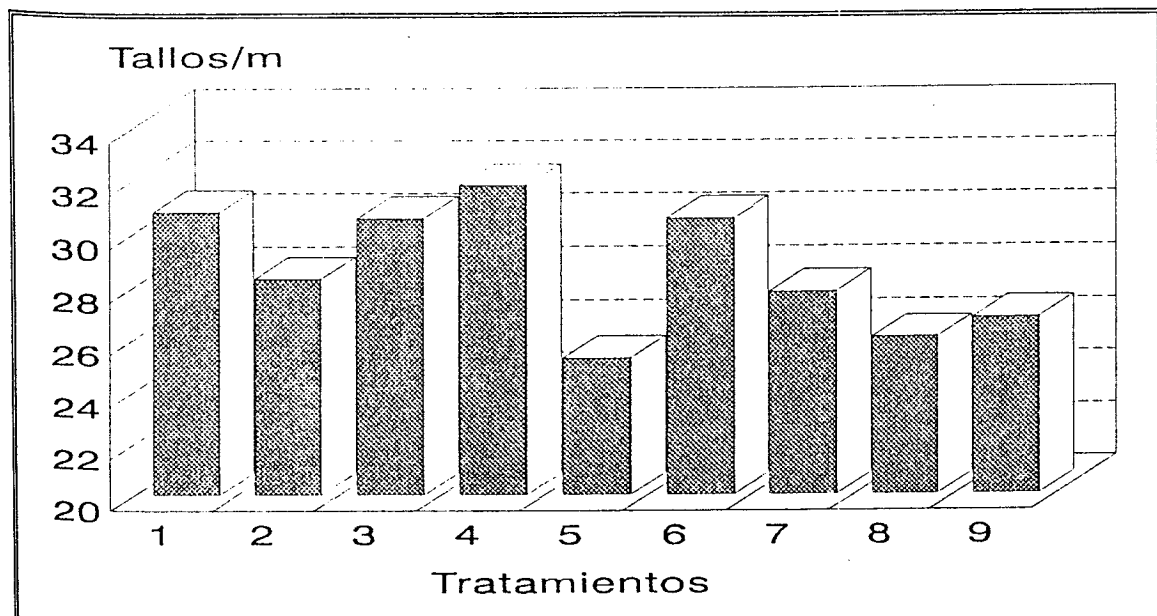


Figura 4.17 Tallos por metro lineal en el cultivo de papa. Huachichil, Coahuila

No se encontró diferencia significativa al nivel del 0.05 entre tratamientos.

Al correlacionar el número de tallos con el rendimiento de tubérculos se observa que con 26.75 tallos se obtiene el valor más alto en rendimiento de

(47.44 ton/ha), no así en el tratamiento ocho ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_0$) con 26 tallos por metro lineal y un rendimiento de tubérculos de 42.45 ton/ha, inferior en 4.99 ton/ha con relación al tratamiento nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$). En el presente trabajo el valor más alto en tallos por metro lineal no representa un mayor rendimiento y se observa que existe un equilibrio y sobre todo una respuesta a los tratamientos utilizados. La diferencia entre el tratamiento nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) y ocho ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_0$) está en el nivel de sustancias húmicas, el tratamiento nueve contiene el nivel alto de humitrón 50 G (100 kg/ha) y el tratamiento ocho contiene el nivel bajo del mismo producto (0 kg/ha).

En esta variable se manifiesta el efecto positivo de las sustancias húmicas en el incremento en el rendimiento de tubérculos.

Peso seco de tallos

En la Figura 4.18 se aprecian los valores promedio por tratamiento de peso seco de tallos en gramos, los valores promedio son similares entre ellos y solo el tratamiento cuatro ($K_1-Ca_0-Mg_1-SH_1$) supera a los demás, el valor promedio es de 20.66. En este tratamiento se aplicó el nivel bajo de poliquel calcio al follaje (3.0 l/ha).

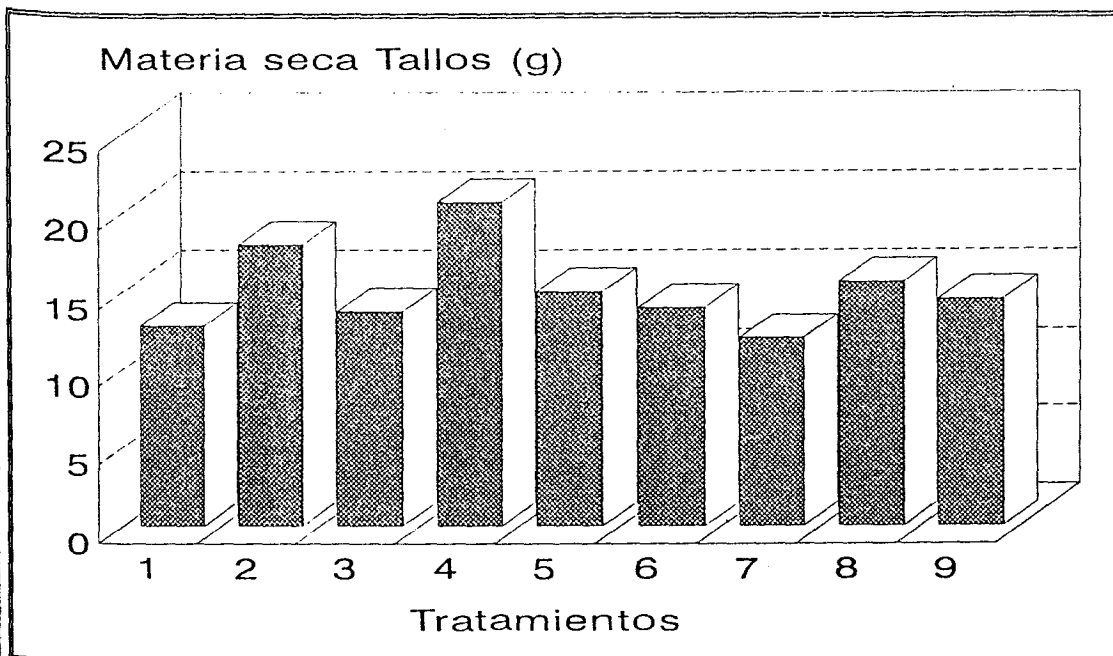


Figura 4.18 Peso seco de tallos del cultivo de papa. Huachichil, Coahuila.

Peso seco de hojas

En la Figura 4.19 se presentan los valores promedio por tratamiento de peso seco de hojas en gramos. Al respecto el tratamiento nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) y cuatro ($K_1-Ca_0-Mg_1-SH_1$) presentan los valores más altos con 74.40 y 68.27 g respectivamente. En el tratamiento nueve se tiene el nivel alto de sustancias húmicas (100 kg/ha de humitrón 50 G) y los niveles medios para los demás factores, mientras que en el tratamiento cuatro contiene el nivel bajo de poliquel calcio (tres litros por ha) y los niveles medios para los demás factores.

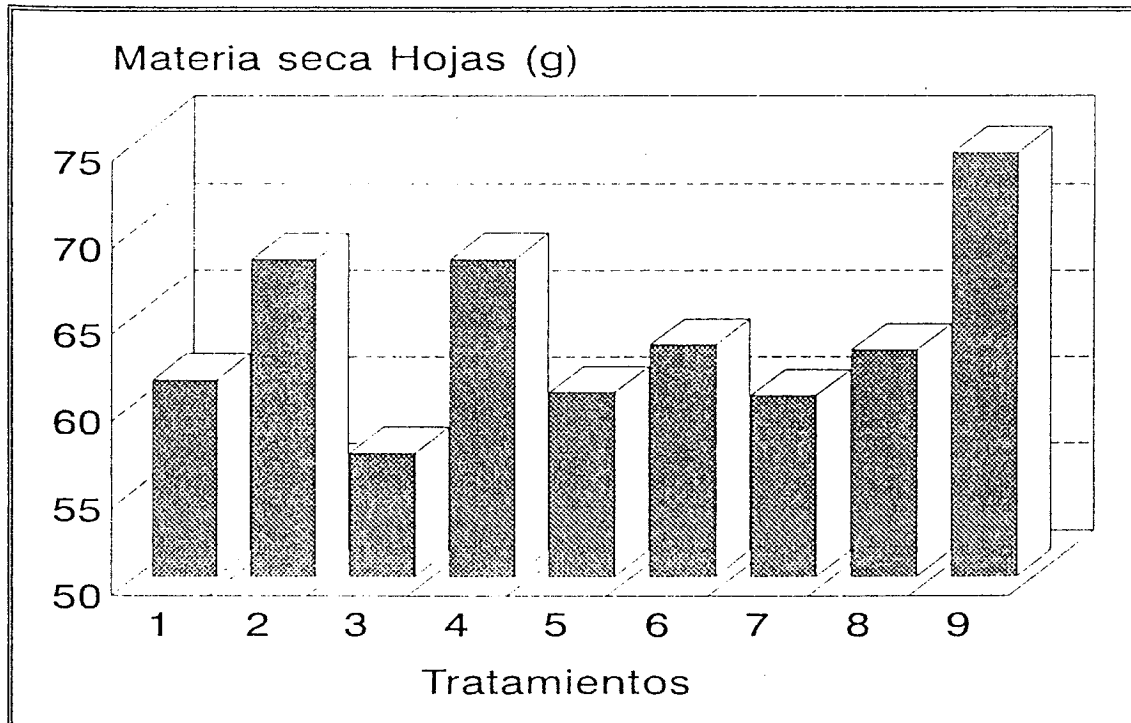


Figura 4.19 Peso seco de hojas en el cultivo de papa. Huachichil, Coahuila.

De acuerdo con el ANVA realizado no se encontró diferencia significativa al nivel del 0.05 y de acuerdo con el cuadro de medias destaca el tratamiento nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) con 74.40 g como el valor más alto, el cual contiene el nivel alto de húmicos y los valores medios para los demás factores, el tratamiento cuatro ($K_1-Ca_0-Mg_1-SH_1$) tiene un valor de 68.27 g.

En relación al rendimiento de tubérculos con este factor, se encontró que a estos tratamientos corresponden los mayores rendimientos con 47.44 y 46.26 ton/ha respectivamente.

Peso seco de raíz

En la Figura 4.20 se presentan los valores promedio por tratamiento de peso seco de raíz. No se encontró una relación importante de esta variable con las demás determinaciones en planta, debido a que al momento del muestreo sólo se extrae parte de esta y el objetivo principal es el contenido de tubérculos.

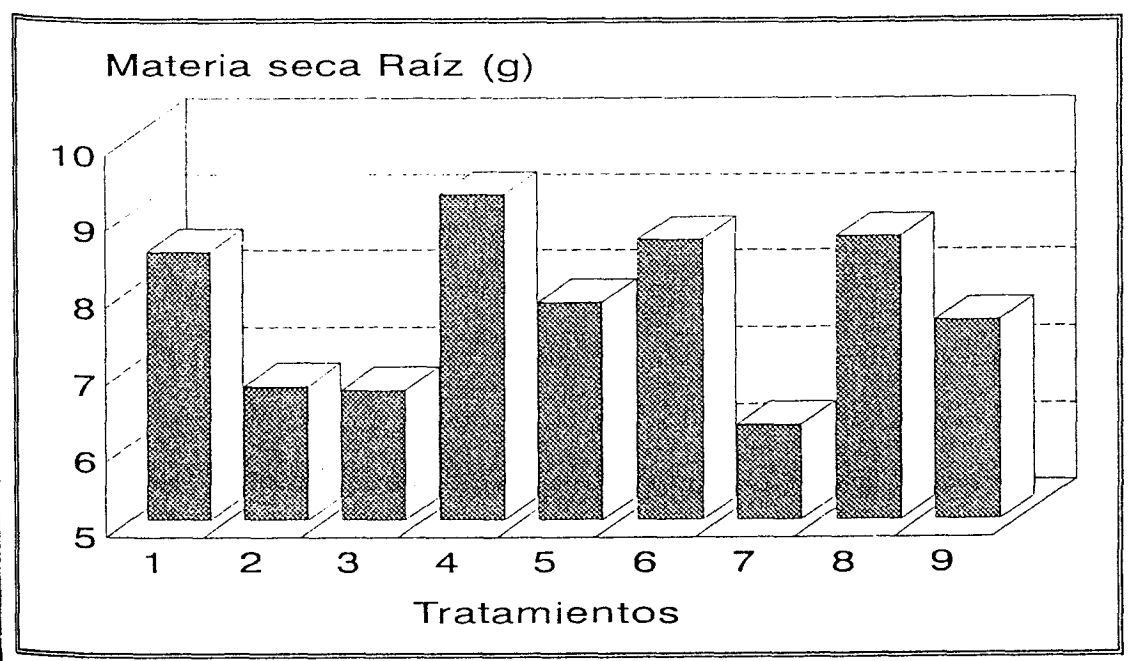


Figura 4.20 Peso seco de raíz en el cultivo de papa. Huachichil, Coahuila.

Peso de tubérculos

En la Figura 4.21 se presentan los valores promedio por tratamiento de peso de tubérculos.

No se encontró diferencia significativa al nivel de 0.05.

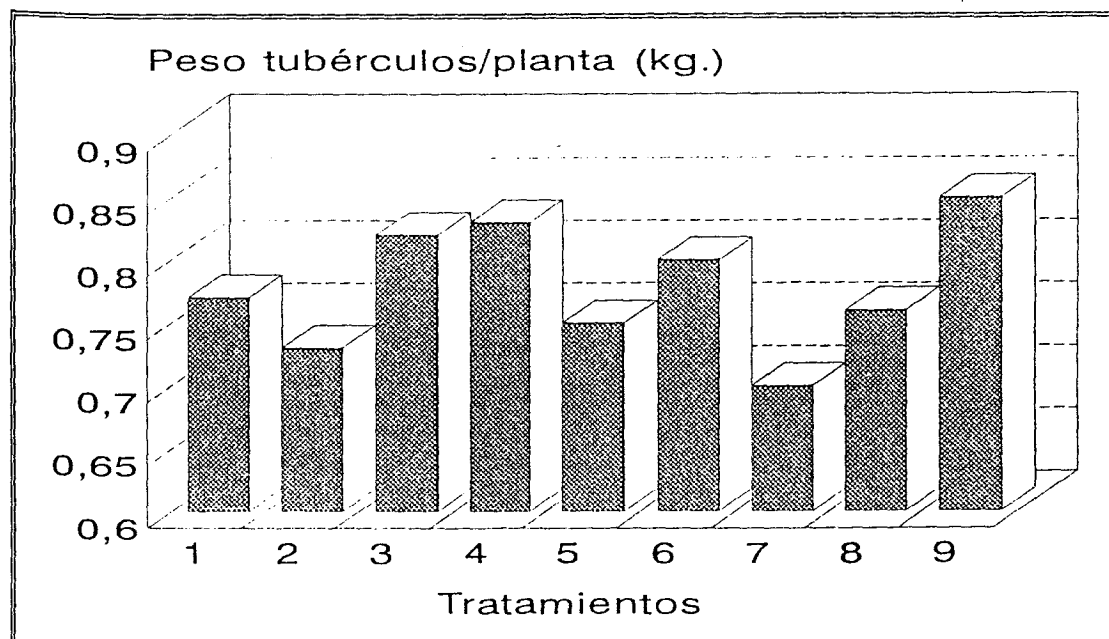


Figura 4.21 Peso fresco de tubérculos por planta en el cultivo de papa. Huachichil, Coahuila.

La correlación entre peso de tubérculos y niveles de sustancias húmicas, se encontró que con el nivel alto se tiene el mayor rendimiento de tubérculo por planta. Cuando se aplica el nivel alto de humitrón 50 G (100 kg/ha) el rendimiento es de 854.00 g, con el nivel medio (50 kg/ha) se tiene un rendimiento de 783.05 g y con el nivel bajo (0 kg/ha) se obtiene el peso más bajo de 764.25 g.

De manera general, los mejores tratamientos son el nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) con 854.00 g contiene el nivel alto de humitrón 50 G y los niveles medios para los demás factores, y el tratamiento cuatro ($K_1-Ca_0-Mg_1-SH_1$) con

832.50 g que contiene el nivel bajo de poliquel calcio y los niveles medios para los demás factores.

Los tratamientos con los valores más bajos son el cinco ($K_1-Ca_2-Mg_1-SH_1$) con 746.75 g que contiene el nivel alto de poliquel calcio (9 l/ha) y los niveles medios para los demás factores y el tratamiento dos con 729.75 g que contiene el nivel bajo de potasio (150 kg/ha) y los niveles medios para los demás factores.

En el presente trabajo se puede apreciar que las sustancias húmicas incrementan el peso de tubérculos, así como las aplicaciones de poliquel calcio al follaje, pero en su nivel bajo. Cuando se aplicó el nivel alto de calcio se encontró un efecto contrario al esperado, situación similar ocurre cuando se utiliza el nivel bajo de potasio.

Indice de área foliar

En la Figura 4.22 se presentan los valores promedio por tratamiento de índice de área foliar y se observa que el valor más alto se obtuvo en el tratamiento nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$), seguido de los tratamientos cuatro ($K_1-Ca_0-Mg_1-SH_1$) y dos ($K_0-Ca_1-Mg_1-SH_1$), de lo anterior se observa que los valores más altos se presentan en los tratamientos con sustancias húmicas.

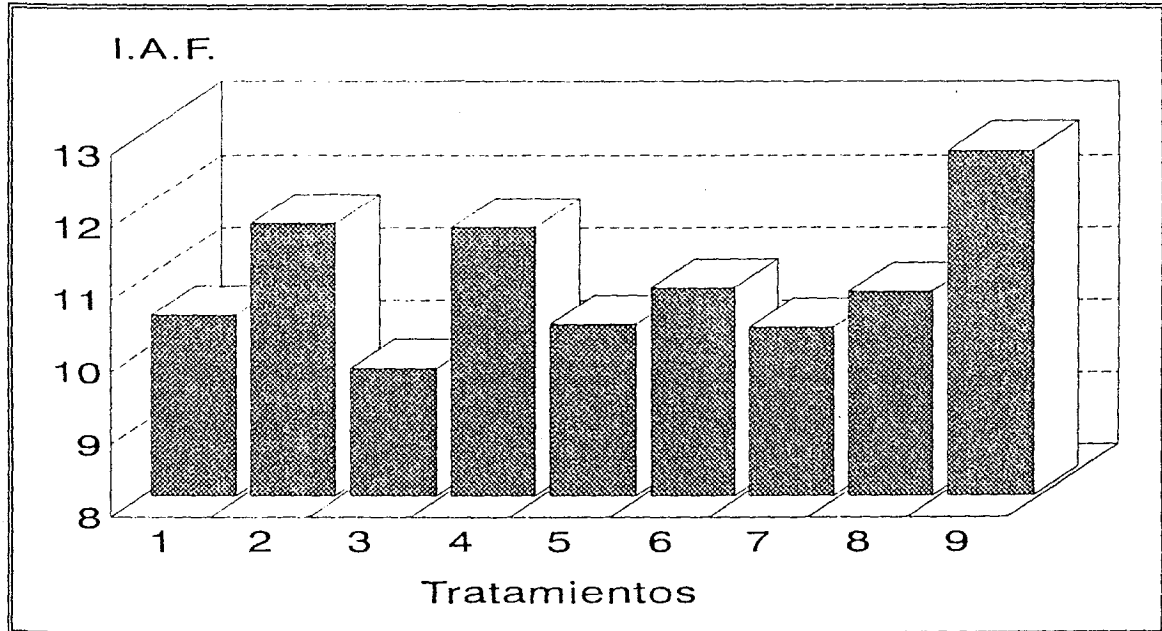


Figura 4.22 Índice de área foliar en el cultivo de papa. Huachichil, Coahuila.

En el ANVA realizado para esta variable no se encontró diferencia significativa.

Existe correlación de esta variable con respecto a la producción de materia seca, ya que la metodología para calcular el índice de área foliar se involucra esta, por lo que, a mayor producción de materia seca se incrementará el índice de área foliar.

Lo anterior concuerda con Narro (1995) que menciona que dentro de los efectos de los húmicos está el incremento en biomasa y crecimiento vegetal. Asimismo Sensei y Lofredo (1994) mencionan que las sustancias húmicas producen modificaciones morfológicas en el sistema de hojas de chícharo.

De acuerdo con lo anterior el mayor valor de índice de área foliar se presenta en el tratamiento nueve ($K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_2$) que además es donde se obtiene el mayor valor en rendimiento de tubérculo.

Análisis foliar

En el Cuadro 4.1 se presentan los valores por tratamiento de muestras compuestas del muestreo foliar realizado en la etapa de floración donde se obtuvieron los valores de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn, estos fueron comparados con los niveles propuestos con Jones, Wolf y Mills (1991) en concentración en los tejidos.

Cuadro 4.1 Análisis foliar en hojas y peciolo en el cultivo de papa en muestras compuestas tomadas en la etapa de floración Huachichil, Coahuila.

| TRATAMIENTO CLAVE | N % | P % | K % | Ca % | Mg % | Fe ppm | Cu ppm | Zn ppm | Mn ppm |
|----------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_1$ | 5.83 | 0.41 | 4.84 | 1.67 | 0.50 | 177 | 22 | 59 | 279 |
| $K_0 - Ca_1 - Mg_1 - SH_1$ | 5.60 | 0.39 | 4.62 | 1.64 | 0.45 | 149 | 21 | 59 | 297 |
| $K_2 - Ca_1 - Mg_1 - SH_1$ | 5.60 | 0.37 | 4.84 | 1.75 | 0.48 | 149 | 21 | 56 | 288 |
| $K_1 - Ca_0 - Mg_1 - SH_1$ | 5.91 | 0.37 | 4.58 | 1.69 | 0.48 | 155 | 20 | 59 | 284 |
| $K_1 - Ca_2 - Mg_1 - SH_1$ | 5.68 | 0.36 | 4.60 | 1.88 | 0.50 | 153 | 20 | 53 | 272 |
| $K_1 - Ca_1 - Mg_0 - SH_1$ | 5.76 | 0.35 | 4.67 | 1.79 | 0.47 | 164 | 23 | 54 | 278 |
| $K_1 - Ca_1 - Mg_2 - SH_1$ | 5.83 | 0.35 | 4.71 | 1.66 | 0.48 | 162 | 22 | 55 | 278 |
| $K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_0$ | 5.81 | 0.43 | 4.72 | 1.63 | 0.47 | 164 | 22 | 57 | 274 |
| $K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_2$ | 6.02 | 0.41 | 4.75 | 1.57 | 0.47 | 166 | 26 | 58 | 270 |

Tabla 4.2 Rangos de concentración de nutrientes propuestos por Jones *et al.* (1991) en hojas y peciolo en el cultivo de papa, para muestras tomadas en floración.

| NUTRIENTE | BAJO | SUFICIENTE | ALTO |
|-----------|--------|------------|--------|
| N (%) | < 2.99 | 3.00-4.00 | > 4.00 |
| P (%) | < 0.24 | 0.25-0.40 | > 0.40 |
| K (%) | < 5.99 | 6.00-8.00 | > 8.0 |
| Ca (%) | < 1.49 | 1.50-2.50 | > 2.50 |
| Mg (%) | < 0.69 | 0.70-1.00 | > 1.00 |
| Fe (ppm) | < 39 | 40-100 | > 100 |
| Zn (ppm) | < 6.0 | 7.0-20 | > 20 |
| Mn (ppm) | < 29 | 30-200 | > 200 |
| Cu (ppm) | < 29 | 30-250 | > 250 |

Nitrógeno

Se encontró que todos los tratamientos se ubican en el nivel alto (mayor de 4.0 por ciento) el valor más alto corresponde al tratamiento nueve ($N_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_2$) donde se aplicó el nivel alto de humitrón 50 G (100 kg/ha) por lo que las sustancias húmicas mejoran la absorción de nitrógeno.

Fósforo

Se encontró que todos los tratamientos están en el nivel de suficiencia no se observa un efecto especial de los tratamientos de acuerdo con los valores obtenidos, todos los valores están por encima de 0.24 por ciento.

Potasio

El promedio de los tratamientos indica que todos están en un nivel bajo, es decir, menor de 6.0 por ciento. De acuerdo con los niveles establecidos, los promedios presentan una relación proporcional de acuerdo con el nivel de potasio aplicado al suelo, por tanto, los valores obtenidos son 4.62, 4.69 y 4.84 que corresponden a los niveles bajo (150 kg/ha de potasio), nivel medio (300 kg/ha de potasio) y nivel alto de potasio (450 kg/ha).

Se observa que con el nivel alto de humitrón 50 G se presenta un ligero incremento en la concentración de potasio en los tejidos. De acuerdo con Mengel y Kirkby (1982) quienes mencionan que la absorción de cationes puede ser restringida por la competencia entre ellos y principalmente por el desbalance de la solución del suelo.

Calcio

En el Cuadro 4.1 se presentan los valores promedio por tratamiento de calcio del análisis foliar.

Es importante mencionar que el calcio fue aplicado al follaje y los valores promedio de la concentración en por ciento a estos niveles son 1.69, 1.68 y 1.88 que corresponden a 3.0, 6.0 y 9.0 lt/ha. El valor más alto

responde al tratamiento cinco (K_1 - Ca_2 - Mg_1 - SH_1) que contiene el nivel alto de quel calcio. De acuerdo con Jones, Wolf y Mills (1991) estos valores se establecen dentro del rango de suficiencia que es de 1.50 a 2.50 por ciento.

nesio

En el Cuadro 4.1 se presentan los valores promedio por tratamiento a el por ciento de magnesio en los tejidos del cultivo de papa, los valores similares entre si y todos se encuentran en el rango de insuficiente.

De acuerdo con Jones, Wolf y Mills (1991) establecen que un nivel o de magnesio se considera cuando se tiene un valor menor de 0.65, por to, todos los valores de magnesio para cada tratamiento está por debajo de e valor y se consideran deficientes, esto debido al desbalance que existe en suelo entre los cationes Ca, K y Mg y provoca problemas para tomar el Mg. el suelo se presenta una relación desfavorable en relación a los demás iones. Esto concuerda con Mengel y Kirkby (1982) que mencionan que la sorción de Mg puede ser afectada por cationes como K, Ca, Mn y NH_4 .

En el Cuadro 4.1 se presentan los valores promedio de los roelementos Fe, Cu y Zn y en relación a los niveles de sustancias húmicas izados se puede observar que existe mayor concentración al incrementar el

vel de sustancias húmicas al suelo. De acuerdo con Jones, Wolf y Mills (1991) todos están en un nivel adecuado o suficiente.

Diagnóstico Nutricional. Índices DRIS y DOP

Para la Interpretación de análisis de tejidos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), se utilizó el Sistema Integrado de Diagnóstico y recomendación para los elementos N, P y K. También se utilizó un nuevo índice propuesto por Montañés, L. *et al.* (1993) que se denomina Desviación del porcentaje Óptimo (DOP)

Los índices DRIS se determinaron con los resultados del análisis foliar reportados en el Cuadro 4.1 y las normas vegetales para el cultivo de papa (Lumner, 1986).

Para el cultivo de papa existen normas establecidas para N-P-K, por el motivo solo estos tres elementos fueron contemplados para el DRIS.

En el Cuadro 4.3 se presentan los resultados, que incluye los índices de desbalance nutricional (IDN), el orden de requerimiento de N-P-K, y el rango óptimo. Se muestra que los índices DRIS para papa en la etapa de ración, el elemento menos requerido en todos los tratamientos es el nitrógeno, al cual le corresponde el valor más alto del índice, y se observa que

potasio es el más requerido en todos los tratamientos, ya que le corresponden los índices más negativos.

Los resultados del presente estudio en relación al orden de requerimiento de N-P-K concuerdan con los reportados por Zermeño (1991) y Torres (1993) donde el potasio es el elemento más requerido en la etapa de floración y el nitrógeno el menos requerido.

Los análisis de suelo indican que es rico en potasio pero las plantas no lo pueden absorber en cantidades suficientes, esto puede deberse al desbalance que existe entre K, Ca y Mg.

Tabla 4.3 Índices DRIS de N-P-K, rendimiento de papa, índices de desbalance nutrimental y orden de requerimiento de los tratamientos estudiados en la etapa de floración. Huachichil, Coahuila.

| CLAVE | INDICE N | INDICE P | INDICE K | IDN | REND EST ton/ha | ORDEN REQ. | RANGO |
|--|----------|----------|----------|-----|-----------------|------------|---------|
| K ₁ - Ca ₁ - Mg ₁ - SH ₁ | 7 | 0 | -7 | 14 | 42.73 | K > P > N | N*P*K** |
| K ₀ - Ca ₁ - Mg ₁ - SH ₁ | 8 | 0 | -7 | 15 | 40.54 | K > P > N | N*P*K** |
| K ₂ - Ca ₁ - Mg ₁ - SH ₁ | 7 | -2 | -5 | 14 | 45.74 | K > P > N | N*P*K** |
| K ₁ - Ca ₀ - Mg ₁ - SH ₁ | 11 | -2 | -8 | 21 | 46.25 | K > P > N | N*P*K** |
| K ₁ - Ca ₂ - Mg ₁ - SH ₁ | 9 | -3 | -7 | 19 | 41.48 | K > P > N | N*P*K** |
| K ₁ - Ca ₁ - Mg ₀ - SH ₁ | 10 | -4 | -6 | 20 | 44.54 | K > P > N | N*P*K** |
| K ₁ - Ca ₁ - Mg ₂ - SH ₁ | 10 | -4 | -6 | 20 | 43.18 | K > P > N | N*P*K** |
| K ₁ - Ca ₁ - Mg ₁ - SH ₀ | 7 | 1 | -9 | 17 | 42.45 | K > P > N | N*P*K** |
| K ₁ - Ca ₁ - Mg ₁ - SH ₂ | 9 | 0 | -9 | 18 | 47.44 | K > P > N | N*P*K** |

SUFICIENTE ** DEFICIENTE

NIVEL BAJO 1. NIVEL MEDIO 2. NIVEL ALTO

Para la interpretación de los análisis de tejidos mediante el nuevo índice de desviación del porcentaje óptimo (DOP) se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{DOP} = [(C * 100)/C_{\text{ref}}] - 100$$

Se requiere de los niveles óptimos para papa de cada nutrimento, los cuales son los propuestos por Jones, *et al.* (1991), los valores se expresan en porcentaje para cada elemento.

| Elementos mayores | Rango |
|-------------------|-------------|
| N | 3 - 4 |
| P | 0.25 - 0.40 |
| K | 6 - 8 |
| Mg | 0.7 - 1.0 |
| Ca | 1.5 - 2.5 |

| Elementos menores | Rango |
|-------------------|---------|
| Fe | 0.007 |
| Cu | 0.00135 |
| Zn | 0.0115 |
| Mn | 0.014 |

Tabla 4.4 Valores del análisis foliar por tratamiento en porcentaje para papa, Huachichil, Coahuila.

| TRATAMIENTO | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Cu | Zn | Mn |
|-------------|------|------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|
| 25-50 SH | 5.83 | 0.41 | 4.84 | 1.67 | 0.50 | 0.0177 | 0.0022 | 0.0059 | 0.0279 |
| 25-50 SH | 5.60 | 0.39 | 4.62 | 1.64 | 0.45 | 0.0149 | 0.0021 | 0.0059 | 0.0297 |
| 25-50 SH | 5.60 | 0.37 | 4.84 | 1.75 | 0.48 | 0.0149 | 0.0021 | 0.0056 | 0.0288 |
| 25-50 SH | 5.91 | 0.37 | 4.58 | 1.69 | 0.48 | 0.0155 | 0.002 | 0.0059 | 0.0284 |
| 25-50 SH | 5.68 | 0.36 | 4.60 | 1.88 | 0.50 | 0.0153 | 0.002 | 0.0053 | 0.0272 |
| 20-50 SH | 5.76 | 0.35 | 4.67 | 1.79 | 0.47 | 0.0164 | 0.0023 | 0.0054 | 0.0278 |
| 30-50 SH | 5.83 | 0.35 | 4.71 | 1.66 | 0.48 | 0.0162 | 0.0022 | 0.0055 | 0.0278 |
| 25-00 SH | 5.81 | 0.43 | 4.72 | 1.63 | 0.47 | 0.0164 | 0.0022 | 0.0057 | 0.0274 |
| 25-100 SH | 6.02 | 0.41 | 4.75 | 1.57 | 0.47 | 0.0166 | 0.0026 | 0.0058 | 0.0270 |

adro 4.5 Valores de índices de la desviación del porcentaje óptimo para papa, Huachichil, Coahuila

| TAMIENTO | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Cu | Zn | Mn | ORDEN REQUERIMI | SUMA |
|--------------|----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----------------|------|
| -6-25-50 SH | 67 | 26 | -30 | -17 | -41 | 153 | 63 | -49 | 99 | ZnMgKCaPCuNMnFe | 545 |
| -6-25-50 SH | 60 | 20 | -34 | -18 | -47 | 113 | 56 | -49 | 99 | ZnMgKCaPCuNMnFe | 496 |
| -6-25-50 SH | 60 | 14 | -30 | -13 | -44 | 113 | 56 | -51 | 106 | ZnMgKCaPCuNMnFe | 487 |
| -3-25-50 SH | 69 | 14 | -35 | -16 | -44 | 121 | 48 | -49 | 103 | ZnMgKCaPCuNMnFe | 499 |
| -9-25-50 SH | 62 | 11 | -34 | -6 | -41 | 119 | 48 | -54 | 94 | ZnMgKCaPCuNMnFe | 469 |
| -6-20-50 SH | 65 | 7 | -33 | -11 | -45 | 134 | 70 | -53 | 98 | ZnMgKCaPNCuMnFe | 516 |
| -6-30-50 SH | 67 | 7 | -33 | -17 | -44 | 131 | 63 | -52 | 98 | ZnMgKCaPCuNMnFe | 507 |
| -6-25-00 SH | 66 | 32 | -33 | -19 | -45 | 134 | 63 | -50 | 96 | ZnMgKCaPCuNMnFe | 538 |
| -6-25-100 SH | 72 | 26 | -32 | -22 | -45 | 137 | 93 | -49 | 93 | ZnMgKCaPNCuMnFe | 569 |

adro 4.6 Valores de análisis de tejidos para papa en 'Las Golondrinas', Navidad, N.L. Tomados de Flores (1993).

| AT | N | P | K | Ca | Fe | Mn |
|----|------|------|-----|-----|--------|--------|
| | 4.47 | 0.19 | 1.2 | 1.8 | 0.006 | 0.002 |
| | 4.89 | 0.19 | 1.2 | 1.4 | 0.0065 | 0.003 |
| | 5.15 | 0.18 | 1.2 | 1.3 | 0.006 | 0.0025 |
| | 4.89 | 0.19 | 1.3 | 0.8 | 0.0055 | 0.002 |
| | 4.75 | 0.18 | 1.2 | 1.8 | 0.0065 | 0.003 |
| | 4.75 | 0.13 | 1.1 | 0.8 | 0.006 | 0.0035 |
| | 4.75 | 0.18 | 1.2 | 1.6 | 0.007 | 0.003 |
| | 5.19 | 0.22 | 1.2 | 1.4 | 0.0075 | 0.004 |
| | 4.75 | 0.23 | 0.9 | 1.8 | 0.006 | 0.003 |
| | 4.47 | 0.24 | 1.1 | 1.6 | 0.007 | 0.004 |
| | 4.47 | 0.21 | 0.8 | 1.4 | 0.007 | 0.004 |
| | 4.75 | 0.21 | 0.8 | 1.4 | 0.008 | 0.003 |
| | 5.04 | 0.15 | 0.9 | 2.6 | 0.007 | 0.004 |
| | 5.47 | 0.21 | 0.9 | 1.2 | 0.006 | 0.003 |
| | 5.19 | 0.2 | 1.2 | 1.2 | 0.006 | 0.003 |
| | 5.19 | 0.21 | 1.7 | 1.4 | 0.007 | 0.003 |
| | 5.76 | 0.21 | 1.3 | 1.4 | 0.008 | 0.004 |
| | 5.76 | 0.23 | 1.5 | 1.4 | 0.006 | 0.0035 |

En el Cuadro anterior se puede apreciar que los resultados del magnesio, cobre y zinc no fueron reportados por lo que no se podrán comparar con los resultados del presente estudio.

Cuadro 4.7 Valores de los índices de desviación del porcentaje óptimo para papa en "Las Golondrinas", Navidad, N.L. Tomados de Flores (1993).

| RAT | N | P | K | Ca | Fe | Mn | ORDEN REQUERIMIENTO | SUMA |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|------|
| | 28 | -41 | -83 | -10 | -14 | -85 | Mn>K>P>Fe>Ca>N | 261 |
| | 40 | -41 | -83 | -30 | -7 | -78 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 279 |
| | 47 | -44 | -83 | -35 | -14 | -82 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 305 |
| | 40 | -41 | -81 | -60 | -21 | -85 | Mn>K>Ca>P>Fe>N | 328 |
| | 36 | -44 | -83 | -10 | -7 | -78 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 258 |
| | 36 | -60 | -84 | -60 | -14 | -75 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 329 |
| | 36 | -44 | -83 | -20 | 0 | -78 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 261 |
| | 48 | -32 | -83 | -30 | 7 | -71 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 271 |
| | 36 | -29 | -87 | -10 | -14 | -78 | K>Mn>P>Fe>Ca>N | 254 |
| 0 | 28 | -26 | -84 | -20 | 0 | -71 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 229 |
| 1 | 28 | -35 | -89 | -30 | 0 | -71 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 253 |
| 2 | 36 | -35 | -89 | -30 | 14 | -78 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 282 |
| 3 | 44 | -54 | -87 | 30 | 0 | -71 | K>Mn>P>Fe>Ca>N | 286 |
| 4 | 56 | -35 | -87 | -40 | -14 | -78 | K>Mn>Ca>P>Fe>N | 310 |
| 5 | 48 | -39 | -83 | -40 | -14 | -78 | K>Mn>Ca>P>Fe>N | 302 |
| 6 | 48 | -35 | -76 | -30 | 0 | -78 | Mn>K>P>Ca>Fe>N | 267 |
| 7 | 65 | -35 | -81 | -30 | 14 | -71 | K>Mn>P>Ca>Fe>N | 296 |
| 8 | 65 | -29 | -79 | -30 | -14 | -75 | K>Mn>Ca>P>Fe>N | 292 |

La interpretación de análisis de planta basado en un nuevo índice: Desviación del Porcentaje Óptimo (DOP) propuesto por Montañés L., *et al*, (1993) y para la interpretación de los análisis del cultivo de papa se contemplaron al N-P-K-Ca-Mg-Fe-Cu-Zn-Mn para el DOP.

En el Cuadro 4.4. se presentan los valores del análisis foliar para papa en Huachichil, Coahuila y los índices de desviación del porcentaje óptimo (DOP), así como el orden de requerimiento de N-P-K-Ca-Mg-Fe-Cu-Zn-Mn y la

suma de los índices de la desviación del porcentaje óptima se presentan en el Cuadro 4.5.

En el Cuadro 4.5 Se observa que los índices DOP para papa en la etapa de floración, los elementos menos requeridos en todos los tratamientos es el nitrógeno y fósforo para los elementos mayores, mientras que para los menores es el fierro, manganeso y cobre a los cuales les corresponde el valor más alto del índice.

Los índices DOP indican que los elementos más requeridos son el magnesio, potasio y calcio que en este orden les corresponden los valores más negativos y para el caso de los menores es el zinc con índice negativo.

El zinc es el microelemento es requerido durante todo el ciclo del cultivo, participa en la síntesis de auxinas y en las mismas funciones enzimáticas del Mn y Mg, al respecto la literatura menciona que el zinc puede reaccionar con el fósforo a nivel planta y provoca deficiencia de zinc; por otra parte la disponibilidad para las plantas disminuye al incrementarse el pH del suelo, el zinc reacciona fuertemente con fosfatos y otros compuestos y se fija Narro (1995) y Jones *et al.* (1991).

En los Cuadros 4.6 Se presentan los resultados del análisis foliar encontrados en papa en "Las Golondrinas", Navidad, N.L. Tomados de Flores

(1993) y en el Cuadro 4.7 se aprecian los índices de desviación del porcentaje óptimo obtenidos de los resultados del análisis foliar del Cuadro 4.6.

Al obtener los índices de desviación del porcentaje óptimo para los análisis reportados por Flores (1993) se encontró que para el caso de los mayores el elemento más requerido por el cultivo es el potasio seguido del fósforo y calcio, no se reportan datos de magnesio. En el presente estudio se encontró que el magnesio es el elemento más requerido por el cultivo, para el caso de K y Ca concuerda con los resultados del presente trabajo. El elemento Mg es el más requerido en la etapa de floración para el caso de estos tres cationes.

El magnesio forma parte de la estructura de la clorofila, es vital en el transporte de energía del metabolismo, en la síntesis de constituyentes del núcleo, cloroplasto y ribosoma cofactor de todas las enzimas que actúan sobre los sustratos fosforilados (Armas, 1988) y (Bidwell, 1979) por lo anterior es un nutrimento que se requiere en todas las etapas del cultivo.

El potasio es requerido para la acumulación y translocación de nuevos carbohidratos necesarios en la tuberización, participa en la presión de turgencia de las células y participa en la apertura y cierre de estomas (Jones *et al.*, 1991)

El calcio es vital para el desarrollo de zonas meristemáticas y en su deficiencia provoca el cese del crecimiento, no funciona la selectividad de la membrana para absorber iones, se requiere durante todo el ciclo de desarrollo de la papa (Carbonero, 1985) y (Narro, 1995).

Relación de K, Ca y Mg con el rendimiento de tubérculo y la extracción por el cultivo

En la Figura 4.23 se presenta la concentración de potasio en solución y la tendencia con respecto al rendimiento de tubérculo y la extracción de K por el cultivo en kg/ha, al respecto se observa que al aumentar la concentración de potasio en solución, se incrementa el rendimiento de tubérculo y también la extracción de potasio de acuerdo con el contenido presente en la materia seca.

El rendimiento de tubérculo se incrementa al aumentar la extracción de K en base al contenido de K en los tejidos de la planta. Se encontró también mayor contenido de K en tratamientos con igual concentración como es el caso del uno ($K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_1$) y tres ($K_2 - Ca_1 - Mg_1 - SH_1$) con 4.84 por ciento para cada tratamiento pero la producción de materia seca es de 3.404 y 3.170 ton/ha respectivamente, en base peso seco de hojas, por tanto el contenido de K es menor en el tratamiento tres.

Al respecto Jones *et al.* (1991) y Reuter y Robinson (1986) mencionan que este fenómeno resulta de la combinación de la concentración del elemento con una reducción de materia seca para el caso de una mayor concentración del elemento. También se presenta una relación tendiente a incrementar el rendimiento de biomasa y la concentración del elemento tiende a ser igual.

El coeficiente de correlación que se encontró para la concentración de potasio en solución y el rendimiento es de 0.65 y $R^2 = 0.81$ y para la concentración de potasio en solución y la extracción de este por el cultivo los valores para el coeficiente de correlación es de 0.63 y $R^2 = 0.40$

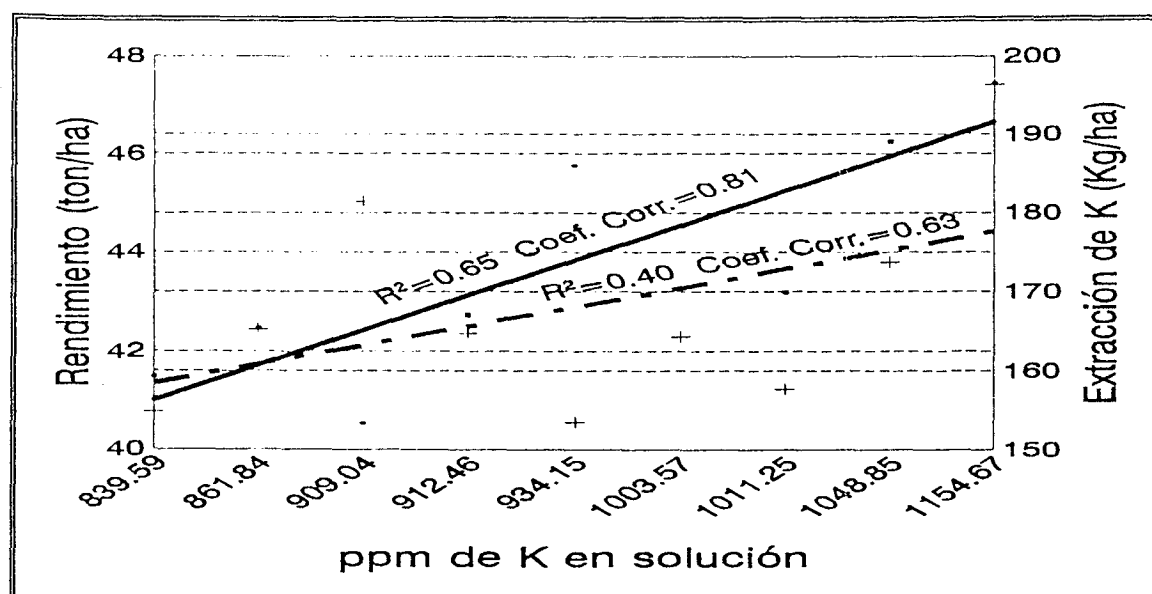


Figura 4.23 Relación de potasio en solución con el rendimiento estimado de tubérculo y extracción de potasio por el cultivo de papa. Huachichil, Coahuila.

Para el calcio en la solución del suelo con respecto al rendimiento no se encontró una tendencia clara por lo que éste influye ligeramente en el rendimiento y en cuanto a la extracción de calcio presente en los tejidos de la planta no presenta ninguna tendencia favorable, como se observa en la Figura 4.24.

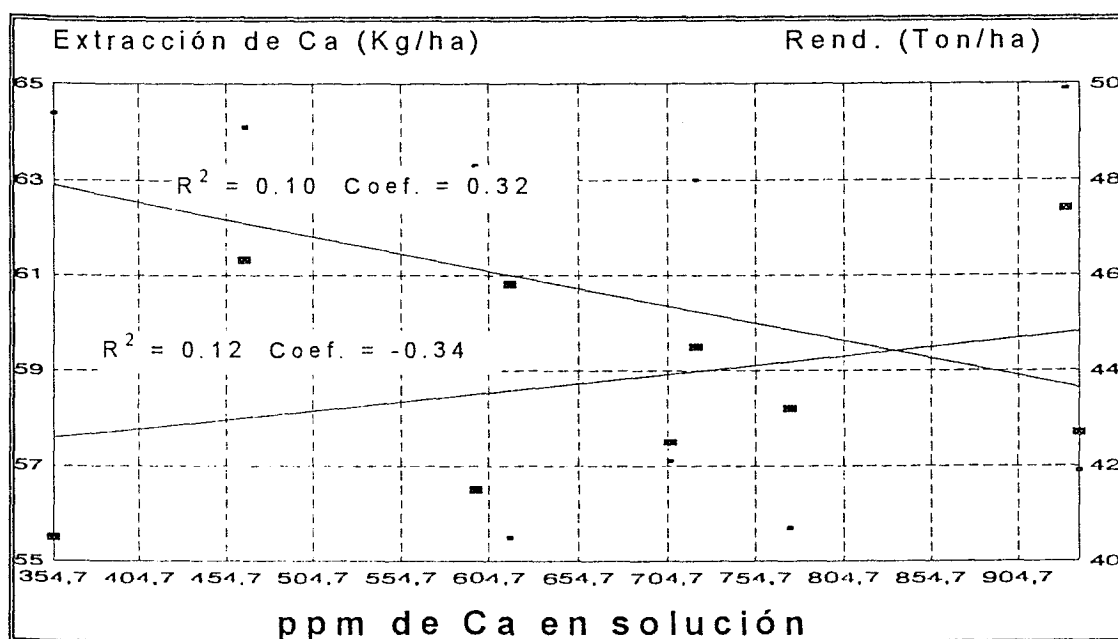


Figura 4.24 Relación del calcio en solución con respecto a la extracción por el cultivo y el rendimiento de tubérculo. Huachichil, Coahuila.

En la Figura 4.25 se relaciona el contenido de magnesio en solución con respecto al rendimiento de tubérculo y extracción del elemento presente en las hojas del cultivo y no se encontró correlación en ningún caso de la figura.

De acuerdo con los análisis foliares se encontró que la concentración de potasio y el magnesio se ubican en un nivel deficiente de acuerdo con los rangos propuestos por Jones *et al.* (1991).

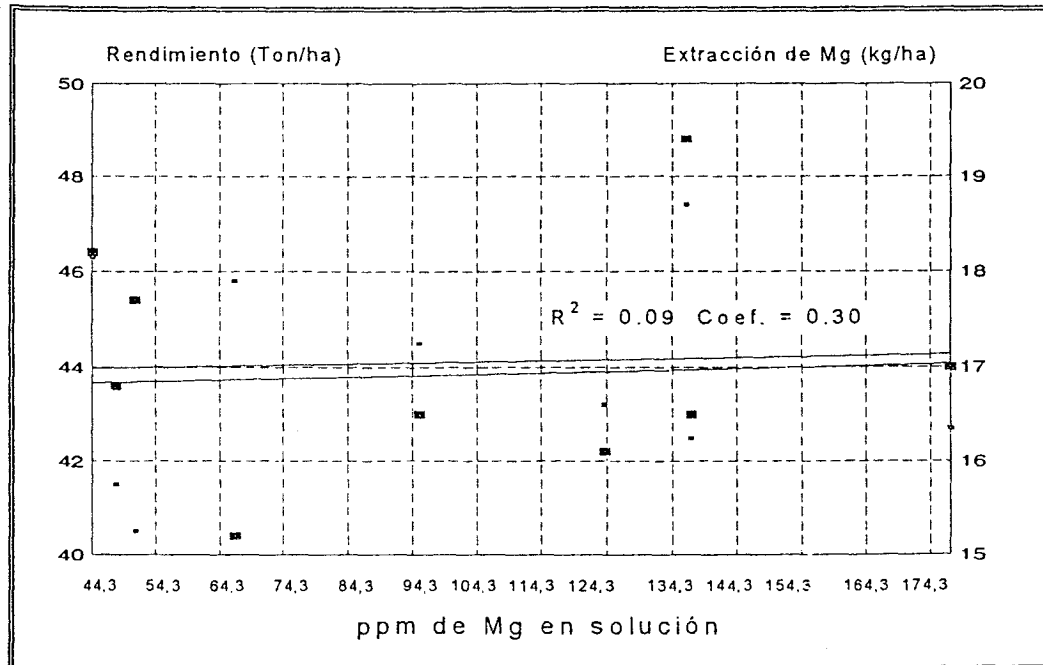


Figura 4.25 Relación del magnesio en solución con respecto a la extracción por el cultivo y el rendimiento de tubérculo. Huachichil, Coahuila.

En la Figura 4.26 se presenta la tendencia de la extracción de potasio con relación al calcio y magnesio extraídos por el cultivo, los valores se presentan en kg/ha en base al peso seco de hojas. En la presente Figura se encontró que al aumentar la extracción de potasio se incrementa la extracción de calcio y magnesio por el cultivo.

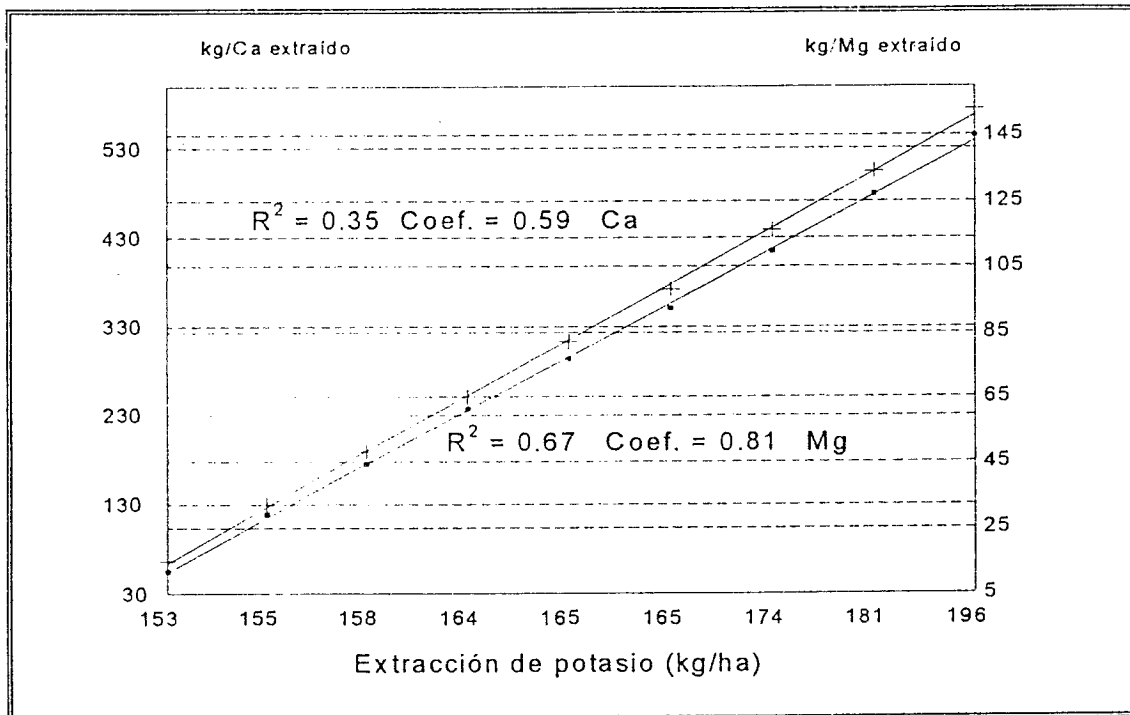


Figura 4.26 Extracción de potasio en relación a la extracción de calcio y magnesio por el cultivo. Huachichil, Coahuila.

La correlación es positiva con respecto a la extracción de calcio y magnesio.

En la Figura 4.27 se presenta la tendencia de la extracción de magnesio por el cultivo con respecto a la extracción de potasio y calcio. Al respecto se encontró una correlación positiva ya que al aumentar la extracción de magnesio se incrementó la extracción de potasio y calcio.

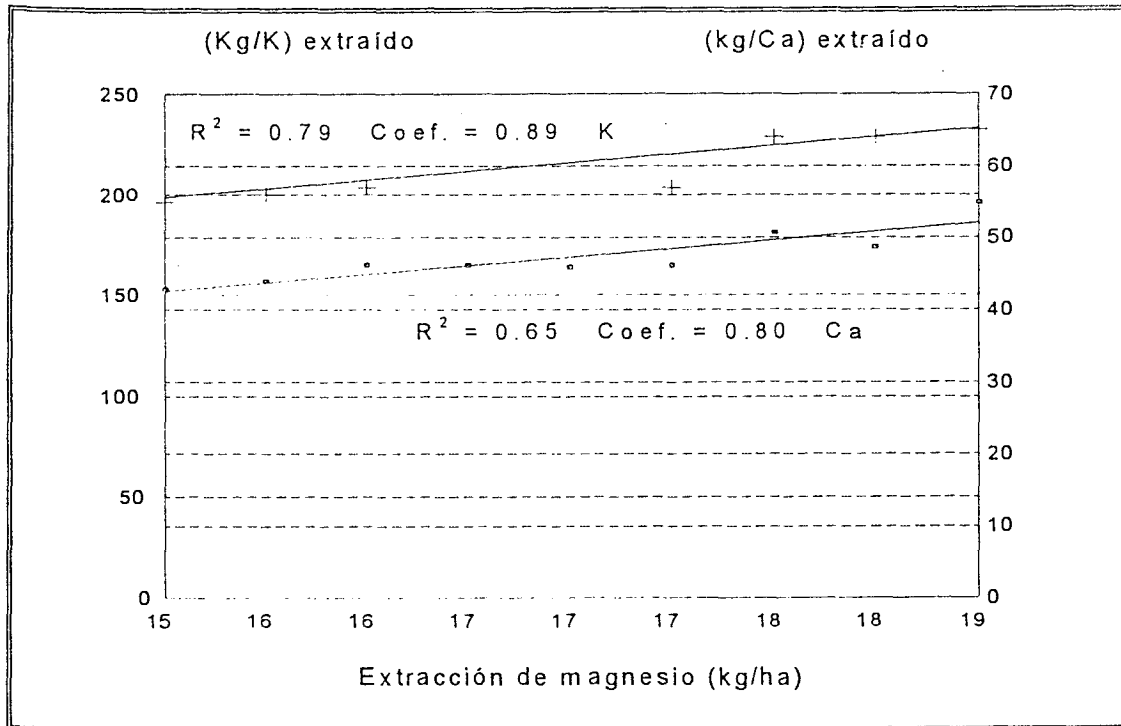


Figura 4.27 Extracción de magnesio en relación a la extracción de calcio y potasio por el cultivo. Huachichil, Coahuila.

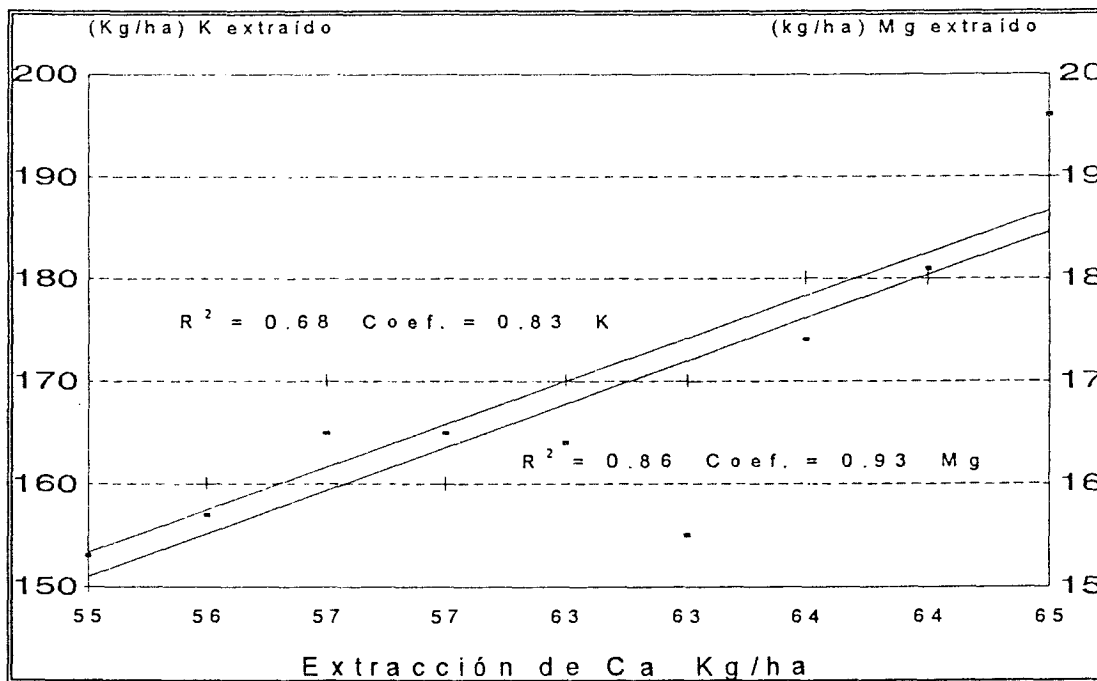


Figura 4.28 Extracción de calcio en relación a la extracción de magnesio y potasio por el cultivo. Huachichil, Coahuila.

En la Figura 4.28 se presenta la tendencia de la extracción de calcio con respecto a la extracción de magnesio y potasio y el comportamiento es similar al de la figura anterior.

En base a lo anterior algunos autores mencionan el antagonismo existente entre estos elementos de gran importancia en el balance de la solución del suelo y se menciona que el exceso de un elemento afecta la absorción de los otros, según Jones *et al.* (1991), Reuter y Robinson (1986) y que debe existir un equilibrio entre estos elementos para que la absorción de ellos no sea inhibida, Narro (1995). De acuerdo con la tendencia encontrada en

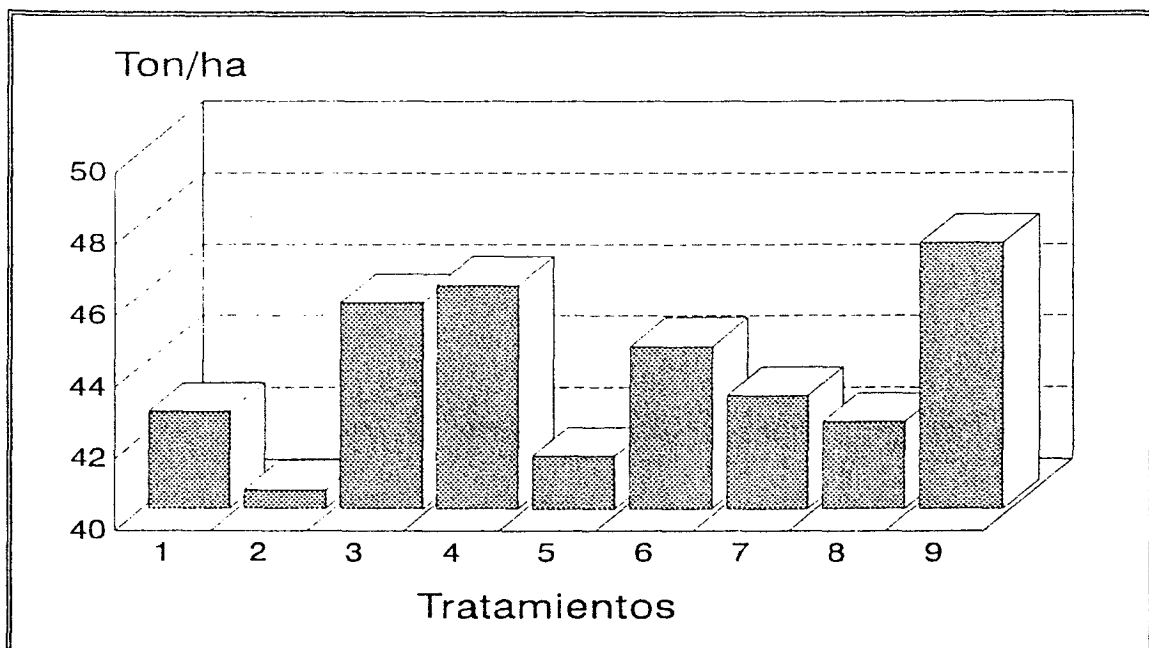


Figura 4.29 Rendimiento estimado de tubérculo, cultivo de papa. Huachichil, Coahuila.

el presente estudio no coincide con lo antes mencionado pero se debe aclarar que el potasio y calcio se encuentran en nivel bajo de acuerdo con los niveles propuestos por Jones *et al.* (1991) y por otra parte existe exceso de calcio en el suelo y niveles bajos de magnesio.

En relación al efecto del calcio sobre el rendimiento, este elemento en primer lugar le confiere resistencia a varios defectos patológicos y fisiológicos al tubérculo. Al incrementar la concentración de calcio en la piel del tubérculo reduce la severidad de los efectos de la *Erwinia* spp, manchado interno y necrosis subapical y al incrementar los niveles de calcio promueve el rendimiento (Tzeng, *et al.*, 1986 y Banberg, *et al.* 1993). Por otra parte al incrementar el contenido de calcio en los tejidos se asocia con un incremento en la resistencia a algunas enfermedades (Bateman y Lumsden, 1965; Conway *et al.*, 1992).

En cuanto al uso de sustancias húmicas en el presente trabajo y en trabajos realizados en la región se han encontrado evidencias palpables del efecto de las sustancias húmicas sobre el rendimiento de tubérculos y en este caso Flores (1993) concluye que la aplicación de 200 kg/ha de Humiplex Plus combinado con reducciones de N, P y K resultó la mejor opción en cuanto al rendimiento. Asimismo Zermeño (1991) concluye que la aplicación de Humiplex Plus y disminución de la fertilización fosfatada incrementó el rendimiento total de tubérculos.

V. CONCLUSIONES

1. Con la aplicación de bioactivadores húmicos al suelo cultivado con papa (*Solanum tuberosum* L.) se generan cambios en las características físicas y químicas del suelo.

2. El tratamiento que mostró mejor respuesta en rendimiento estimado de tubérculo fue el nueve ($K_1 - Ca_1 - Mg_1 + SH_2$) con el nivel alto de húmicos y niveles medios para los demás factores, no de manera significativa.

3. El análisis foliar mostró un nivel deficiente en la concentración de potasio y magnesio en los tejidos y la incorporación de sustancias húmicas y los niveles de fertilización utilizados no modificaron este parámetro.

4. En relación a la respuesta de los niveles de cada factor, las mejores opciones son aplicar 300 kg de potasio, 100 kg de humitrón 50 G y aplicar el nivel bajo de calcio. Para magnesio se debe incrementar el nivel o utilizar otra fuente.

5. El orden de requerimiento de elementos mayores en todos los tratamientos en la etapa de floración (al 50 por ciento) determinado por el DRIS

fue potasio, fósforo y nitrógeno. Los tratamientos utilizados no modificaron este orden.

6. El orden de requerimiento de nutrimentos determinado por el DOP en la etapa de floración (al 50 por ciento) fue zinc, magnesio, potasio, calcio, fósforo, cobre, nitrógeno, manganeso y fierro. En los tratamientos seis ($K_1-Ca_1-Mg_0-SH_1$) y nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) el orden de requerimiento fue zinc, magnesio, potasio, calcio, fósforo, nitrógeno, cobre, manganeso y fierro.

7. En relación a la extracción de potasio, calcio y magnesio por el cultivo mostraron una correlación directa y a mayor extracción de potasio, mayor extracción de calcio más magnesio. La concentración de potasio y magnesio se ubican en el nivel bajo.

VI. RESUMEN

La parte experimental de esta investigación, se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera-varano de 1994 en la región del Huachichil, "Cañón Emiliano Zapata", Arteaga, Coahuila, México.

Los objetivos de esta investigación son encontrar la relación potasio, calcio y magnesio más apropiada e interacción con sustancias húmicas en el cultivo de papa, evaluar tres niveles de potasio, calcio, magnesio y humitrón 50 G, efectos e interacciones sobre el balance nutricional en el rendimiento y calidad de tubérculos, determinar por medio del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) el orden de requerimiento de los nutrimentos N-P-K y determinar por medio del nuevo índice la Desviación del Porcentaje Optimo el orden de requerimiento de los nutrimentos N-P-K-Ca-Mg-Fe-Cu-Zn-Mn.

Los tratamientos consistieron en utilizar tres niveles de fertilización para potasio, calcio y magnesio aplicando sustancias húmicas también en tres niveles. Se tomó como base para el nivel medio la fertilización media de la región (300 K, 6 Ca y 25 Mg) y 50 kg de humitrón 50 G. Para el nivel bajo se

disminuyó un 50 por ciento y para el nivel alto se incrementó en la misma proporción, partiendo del nivel medio.

El nivel alto de sustancias húmicas y los niveles medio para los demás factores incrementó la altura de planta, incrementó el índice de área foliar y peso seco de hojas, generó un valor intermedio para tallos por planta y permitió un mejor llenado de tubérculos para el mejor rendimiento.

El mejor tratamiento en rendimiento estimado de tubérculo fue el nueve (K_1 - Ca_1 - Mg_1 - SH_2) este involucra el nivel alto de sustancias húmicas incorporadas al suelo y los niveles medios para los demás factores.

Con la adición de sustancias húmicas al suelo cultivado con papa se modificaron las características físicas y químicas del suelo como densidad aparente, materia orgánica, conductividad eléctrica y se incrementó la disponibilidad de algunos nutrimentos esenciales, estas modificaciones no fueron significativas.

De acuerdo con el análisis foliar en la etapa de floración (50 por ciento) se encontraron niveles deficientes para los nutrimentos potasio y magnesio, esto debido al desbalance existente entre los cationes K, Ca y Mg.

En el Sistema de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) el nutrimento más requerido en todos los tratamientos fue el potasio y el menos requerido fue el nitrógeno para la etapa de floración.

En el nuevo índice de la Desviación del Porcentaje Optimo (DOP) el orden de requerimiento para los nutrimentos en todos los tratamientos fue zinc, magnesio, potasio, calcio, fósforo, cobre, nitrógeno, manganeso y fierro. Para los tratamientos seis ($K_1-Ca_1-Mg_0-SH_1$) y nueve ($K_1-Ca_1-Mg_1-SH_2$) la diferencia es que el nitrógeno fue primero que el cobre, pero se conservó el orden para los demás tratamientos.

La relación entre potasio, calcio y magnesio se comportó de manera positiva, es decir, al incrementarse la extracción de potasio, se incrementó la extracción de calcio más magnesio. Igual comportamiento presentó cada elemento, es preciso mencionar que el potasio y magnesio presentan una concentración por debajo del nivel suficiente.

VII. LITERATURA CITADA

- Armas, U. R., Ortega, D. E. y Rodes, G. R. 1988. Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
- Badraoui, M., Bloom, R.P. y Delmaki, A. 1992. Mobilization of nonexchangeable K by ryegrass in five Moroccan soils with and without mica. *Plant and Soil*. v. 140 : 55 - 63.
- Bartolini, C. 1989. La Fertilidad de los Suelos, Terreno, planta, fertilizantes. Ediciones M.P. Madrid, España.
- Beaufils, E. R. 1975. Calibration of soil and treatment yield/quality factors. Illustration of how the proposed diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) is applied. *6 Soil Sci. Congres of South Africa*, p. 91 - 103.
- Beaufils, E. R. and M. E. Summer. 1976. Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and plant quality factors sugarcane. *Proc. S. Afr. Sugar Tech. Assoc.* 50: 118 - 124.
- Bidwell, R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. AGT Editor, S. A. México.
- Buckman, O. H. y Brady, C. N. 1985. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Edit. UTEHA. México, D.F.
- Burton, G. W. 1981. Challenges for stress physiology in potato. *Amer. Potato J.* New Jersey, USA. 58 (1): 3 - 10.
- Cachorro, P., Ortiz, A. y Cerdá, A. 1994. Implications of Calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. *Plant and Soil*. v. 159 p. 205-212.
- Cánovas, M. F. y Díaz, A. J. R. 1993. Cultivos Sin Suelo. Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA. Almeria, España.
- Carbonero, Z. P. 1985. Química del Suelo y los Fertilizantes. Monografía. Cátedra XVI. Bioquímica y Química Agrícola. Madrid, España.

- Crafts, S. A. and Crisp, E. C. 1971. Phloem Transport in Plants. Editorial W. H. Freeman and Company. USA.
- Cullen, J.C. y Wilson, A. R. 1971. Producción Comercial de Patatas y su Almacenamiento. Editorial Acríbia. Zaragoza. España.
- Dekock, P. C. 1955. Influence of Humic Acids on Plant Growth. Science. 121:473- 474.
- Donahue, R. L., Miller, W. R. and Shickluma, C. J. 1992. Soils an Introduction to Soils and Plant Growth. Editorial Prentice-Hall, Inc.USA.
- Dragunov, S. S. y Vysotscaya, P. N. 1953. Investigación química de las sustancias húmicas de algunos suelos. Pochrovedenie, 4.
- Edmond, J. B., Senn, T. L., y Andrews F. S. 1984. Principios de Horticultura. Editorial Continental. México.
- Erickson, T., K. A. Kelling and E. E. Schulte. 1982. Predicting alfalfa nutrient needs thorough DRIS. Proc. Winsconsin Fertil. Aglime and Pest. Management Conference. 21: 233 - 246.
- Finck, A. 1985. Fertilizantes y Fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Editorial Reverté, S. A. España.
- Flegmann, A.W., y Raymond, A. T. 1980. Soils and other Growth media. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, USA.
- Flores, L. D. 1993. Bioactivadores Húmicos y Fertilización en el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en Navidad, N. L. Tesis Maestría. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Furcal B., P. H. 1989. El cultivo del cilantro (*Coriandrum sativum* L.) bajo condiciones diferentes de humedad, estiércol bovino y fertilizante enraizador en Saltillo, Coah. Tesis Maestría. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Guminski, S. 1967. The effect of humus compounds on some physiological processes, Symp. Humus in Plant, IV, Praga.
- Horton, D. 1987. Potatoes Production Marketing and Programs for Developing Countries. Editorial Westviuw Press. USA.
- Howeler, R. H. 1983. Análisis del Tejido Vegetal en el Diagnóstico de Problemas Nutricionales. Algunos cultivos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

- Hurtado M. S. 1995. Biotecnología Aplicada en la Horticultura del Bajío. in Productores de Hortalizas. año 4, No. 4.
- Inoue, K., Zhao, L. P., Huang, P. M. 1990. Adsorption of humic substances by hydroxyaluminum- and hydroxyaluminosilicate-montmorillonite complexes. Soil Sci. Soc. Am. J. v. 54 (4) p. 1166 - 1172.
- Jones *et al.* Plant Analysis Handbook. a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Ga. U.S.A.
- Jristeva, L. A. y Manoilova, A. B. 1950. Naturaleza de la influencia directa del ácido húmico sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, Dokl. VASJNIL, 11.
- Kretzchmar, R., Robarge, W. P., Weed, S. B. 1993. Flocculation of soil clays: effects of humic substances and iron oxides. Soil Sci. Soc. Am. v.57 (5) p.1277-1283.
- Kononova, M. M. y Pankova, N. A. 1950. Influencia de las sustancias húmicas en el crecimiento y desarrollo de las plantas, Dokl. ANSSSR, vol. LXXIII, 5.
- Lee, Y.L. y R.L. Bartlett. 1978. Stimulation of Plant growth by substances. Soil Sci. J. 40 p. 876-879.
- Locascio, S. J., Bartz, J. A. and Weingartner D. P. 1992. Calcium and Potassium fertilization of potatoes grown in North Florida I. Effects on potato Yield and tissue Ca and K concentrations. American Potato Journal. v 69 (2)
- López, R. J. y L. M. J. 1990. El Diagnóstico de Suelos y Plantas. Métodos de campo y laboratorio. M. P. Madrid, España.
- Maroto, B.J.V. 1989. Horticultura Herbácea Especial. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Mengel, K. y Kirkby, A. E. 1982. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Switzerland.
- Montaldo, A. 1991. Cultivo de Raíces y Tubérculos Tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.

- Montanés, L., Heras, L., Abadía, J. y Sanz, M. 1993. Plant Analysis Interpretation Based on New Index: Deviation from Optimum Percentage (DOP). *Journal of Plant Nutrition*, 16(7). 1289 - 1308.
- Narro, F. E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Editorial Trillas, México.
- Narro, F. E. 1995. Nutrición y Sustancias Húmicas en el Cultivo de Papa. Memorias del VI Congreso Nacional de Productores de Papa. Saltillo, Coahuila.
- Navvabzdeh, M. y M. J. Malakouti. 1993. Development of Norms for Potato in the Calcareous Soils of Iran. *Journal of Plant Nutrition*, 16(8), 1409 - 1416.
- Omega Agroindustrial 1989. Departamento de investigación y desarrollo. Saltillo, Coahuila. México S. A. de C. V.
- Parsons, D. B. et al. 1982. Papas. Manuales para Educación Agropecuaria. Ed. Trillas. México.
- Piccolo, A. and Mbagwu, J. S. C. 1994. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am.* 58 (3) p. 950-955.
- Prozorovskaya, A. A. Influencia del ácido húmico y sus derivados en la entrada a la planta del nitrógeno, fósforo, potasio y hierro, Trudy NIUIF Organo-mineralniye adobrenia, 127.
- Razeto, M. B. 1991. La Nutrición Mineral de los Frutales. Deficiencias y Excesos. SQMC. Universidad de Chile.
- Roberts, R., Longbrake, T., Cotner, S., Parsons, J. and Thompson, P. 1975. Keys to Profitable Potato Production. Texas Agricultural extension Service. The Texas A & M University System. USA.
- Sánchez, L.B.A. 1988. Fertilización fraccionada de fósforo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*, L.) en Saltillo, Coah. Tesis de licenciatura UAAAN, Saltillo, Coah., México.
- Schnitzer, M. and Poapst, P. A. 1967. Effects of a soil humic compound on root initiation. *Nature (Lond.)*, 213 598-599.
- Sensei, N. y Loffredo, E. 1994. Influence of humic substances and herbicides on the growth of pea (*Pisum sativum* L.) in nutrient solution. *J-plant-nutr.* 17 (2/3) 493-500. New York.

- Secretaría de Educación Pública. 1992. Suelos y fertilización. Editorial Trillas. México, D.F.
- Secretaría de Educación Pública. 1987. Papas. Editorial Trillas, México, D. F.
- Slack, T. E. and Morrill, L. G. 1972. A comparison of a large - seeded (NC₂) and Small - seeded (Starr) peanut (*Arachis hipogaea* L.) cultivar as affected by levels of calcium added to the fruit zone. Soil Sci. Am. Proc.36, 87 - 90.
- Steel D., R. G. y J. H. Torrie. 1985. Bioestadística. Principios y Procedimientos. Mc Graw Hill, México, D.F. p. 196.
- Stevenson, F. 1965. Origen and distribution of nitrogen in soil. Amer. Soc. of Agron., Madison, Winsconsin.
- Tarchitzky, J. Chen, Y. y Banin, A. 1993. Humic substances and pH sodium- and calcium- montmorillonite flocculation and dispersion. SSSAJ 57 (2) p. 367-372.
- Tivy, J. 1992. Agricultural Ecology. Editorial Longram Scientific and Technical. USA.
- Van der Watt, H.v.H., Barnard, R. O., Cronje, I. J., Dekker, J., Croft, G. J. B., Van der Walt, M. M. 1991. Amelioration of subsoil acidity by application of a coal-derived calcium fulvate to the soil surface. Nature. London: Macmillan Magazines Ltd. v. 350 (6314) p. 146- 148.
- Valadez, L.A. 1992. Producción de Hortalizas. Editorial Limusa. México.
- Vaughan, D., L. Nicolao, M. Ferretti, N. Rascio and Ghisi, R. 1981. Effect of substances on enzyme activities of sulphate assimilation and chloroplast ultraestructureof maize leaves. Photosynthetica 1 (25).
- Vega, S. P.1987. Estudio comparativo de dos mejoradores del suelo en híbridos de maíz (*Zea mays*, L.) bajo diferentes condiciones de humedad. Tesis Maestría. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.
- Zermeño, G. H. 1992. Mejorador de Suelo y Reguladores de Crecimiento en el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L.), en Derramadero, Coah., Tesis Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila.

VIII. APENDICE

Cuadro A.1. Análisis de varianza para la fuente de variación de tratamientos de las variables en estudio (planta).

| VARIABLE | G.L | S.C. | C.M. | Fc | CV |
|-------------------|-----|------------|-----------|--------|--------|
| Altura de planta | 8 | 119.2200 | 14.9000 | 1.0618 | 7.02% |
| Tallos por planta | 8 | 62.5000 | 7.8100 | 3.0822 | 23.58% |
| Tallos por metro | 8 | 176.0500 | 22.0000 | 0.6975 | 19.63% |
| Peso seco tallo | 8 | 228.8400 | 28.6000 | 0.6248 | 44.63% |
| Peso seco raíz | 8 | 35.4100 | 4.4200 | 0.7230 | 31.61% |
| Peso seco hojas | 8 | 905.3200 | 113.1600 | 0.6913 | 19.97% |
| Peso tubérculo | 8 | 57764.0000 | 6970.5000 | 0.6970 | 12.67% |
| IAF | 8 | 0.8899 | 0.1112 | 0.7008 | 20.08% |

Cuadro A.2. Análisis de varianza para la fuente de variación de tratamientos de las variables en estudio (suelo).

| VARIABLE | G.L | S.C. | C.M. | Fc | C.V. |
|-------------------|-----|-----------|-------------|--------|-------|
| Densidad aparente | 8 | 0.0034 | 0.0004 | 0.7325 | 2.3% |
| Materia orgánica | 8 | 0.7400 | 0.0900 | 1.4004 | 6.4% |
| C. Eléctrica | 8 | 9.4500 | 1.1800 | 3.3762 | 23.9% |
| CIC | 8 | 296.3700 | 1.4048 | 1.6500 | 1.6% |
| Nitrógeno | 8 | 426.6200 | 53.3200 | 1.4002 | 6.4% |
| Fósforo | 8 | 958.4000 | 119.8000 | 0.9975 | 10.9% |
| Potasio | 8 | 2176420 | 272052.5000 | 1.5383 | 37.5% |
| Calcio | 8 | 1369.2300 | 171.1500 | 2.9394 | 32.9% |
| Magnesio | 8 | 233.6900 | 29.2100 | 2.9582 | 57.0% |

Cuadro A.3. Características físicas y químicas evaluadas en el suelo después de la cosecha. Huachichil, Coahuila.

| TRAT | REP | CE | MO | N | P | CO ₃ | CIC | Ca Mq/lit | Mg Mq/lit |
|--------|-----|------|------|--------|--------|-----------------|-------|--------------|--------------|
| INICIO | | 1.1 | 3.74 | 89.76 | 75.58 | 28.02 | 30.71 | 7.42 | 2.1 |
| 1 | 1 | 3.8 | 3.13 | 75.12 | 92.48 | 31.38 | 29.49 | 34.52 | 7.7 |
| 1 | 2 | 3.0 | 4.33 | 103.92 | 93.32 | 24.05 | 31.89 | 32.24 | 19.3 |
| 1 | 3 | 2.9 | 3.86 | 92.64 | 100.93 | 17.15 | 30.95 | 27.45 | 6.2 |
| 1 | 4 | 3.5 | 4.13 | 99.12 | 100.08 | 25.45 | 31.49 | 33.07 | 6.2 |
| 2 | 1 | 1.2 | 4.13 | 99.12 | 90.79 | 25.40 | 31.49 | 7.28 | 3.1 |
| 2 | 2 | 1.5 | 4.13 | 99.12 | 107.69 | 25.90 | 31.49 | 9.98 | 2.2 |
| 2 | 3 | 1.50 | 4.13 | 99.12 | 107.69 | 25.90 | 31.49 | 9.98 | 2.2 |
| 2 | 4 | 2.5 | 4.40 | 105.6 | 87.41 | 28.2 | 32.03 | 22.25 | 3.9 |
| 3 | 1 | 3.0 | 3.20 | 76.80 | 111.07 | 24.95 | 29.63 | 30.16 | 2.7 |
| 3 | 2 | 1.0 | 4.13 | 99.12 | 64.59 | 25.90 | 31.49 | 5.20 | 3.1 |
| 3 | 3 | 2.40 | 4.13 | 99.12 | 104.31 | 32.80 | 31.49 | 20.80 | 4.5 |
| 3 | 4 | 2.6 | 3.80 | 91.20 | 85.72 | 25.45 | 30.83 | 27.66 | 4.5 |
| 4 | 1 | 2.10 | 4.07 | 97.68 | 111.91 | 26.35 | 31.37 | 19.34 | 4.1 |
| 4 | 2 | 2.40 | 4.13 | 99.12 | 95.86 | 15.95 | 31.49 | 23.43 | 2.1 |
| 4 | 3 | 1.10 | 3.74 | 89.76 | 112.76 | 21.30 | 30.71 | 7.42 | 1.6 |
| 4 | 4 | 1.1 | 3.74 | 89.76 | 95.86 | 27.70 | 30.71 | 13.93 | 2.0 |
| 5 | 1 | 1.90 | 3.46 | 83.04 | 100.08 | 30.95 | 30.15 | 17.88 | 3.5 |
| 5 | 2 | 2.50 | 4.07 | 97.68 | 95.86 | 15.50 | 31.37 | 24.59 | 2.0 |
| 5 | 3 | 2.10 | 4.07 | 97.68 | 102.62 | 18.05 | 31.37 | 16.08 | 2.5 |
| 5 | 4 | 2.2 | 3.67 | 88.08 | 88.18 | 24.05 | 30.57 | 21.57 | 2.3 |
| 6 | 1 | 2.90 | 4.13 | 99.12 | 100.93 | 27.70 | 31.49 | 27.04 | 5.2 |
| 6 | 2 | 3.0 | 4.40 | 105.60 | 102.62 | 25.45 | 32.03 | 33.28 | 8.3 |
| 6 | 3 | 2.50 | 4.0 | 96.00 | 134.73 | 29.55 | 31.23 | 20.80 | 4.1 |
| 6 | 4 | 2.10 | 4.0 | 96.0 | 90.79 | 24.95 | 31.23 | 17.05 | 4.1 |
| 7 | 1 | 4.0 | 4.13 | 99.12 | 106.0 | 24.05 | 31.49 | 45.76 | 9.1 |
| 7 | 2 | 2.0 | 4.33 | 103.92 | 104.31 | 24.05 | 31.89 | 19.76 | 7.6 |
| 7 | 3 | 2.0 | 4.20 | 100.80 | 126.28 | 25.40 | 31.63 | 16.24 | 7.0 |
| 7 | 4 | 2.6 | 4.0 | 96.0 | 97.55 | 27.70 | 31.23 | 24.75 | 4.3 |
| 8 | 1 | 2.5 | 3.67 | 88.08 | 95.86 | 28.20 | 30.57 | 19.96 | 4.5 |
| 8 | 2 | 3.5 | 4.07 | 97.68 | 89.10 | 27.70 | 31.37 | 33.28 | 8.3 |
| 8 | 3 | 2.8 | 4.20 | 100.80 | 127.97 | 25.45 | 31.63 | 23.71 | 15.3 |
| 8 | 4 | 2.10 | 3.60 | 86.40 | 89.10 | 25.45 | 30.43 | 20.59 | 2.9 |
| 9 | 1 | 3.08 | 3.46 | 83.04 | 106.0 | 25.40 | 30.15 | 32.94 | 4.1 |
| 9 | 2 | 3.0 | 4.07 | 97.68 | 75.58 | 30.0 | 31.37 | 40.97 | 11.0 |
| 9 | 3 | 2.60 | 4.27 | 102.48 | 106.0 | 27.7 | 31.77 | 26.62 | 10.8 |
| 9 | 4 | 2.8 | 4.20 | 100.80 | 111.07 | 32.80 | 31.64 | 25.58 | 4.3 |

Cuadro A.4. Contenido de K-Ca-Mg en el suelo al inicio y después de la cosecha. Huachichil, Coahuila.

| TRAT | REP | K (kg/ha) | Ca (kg/ha) | Mg (kg/ha) |
|--------|-----|-----------|------------|------------|
| Inicio | | 812.67 | 228.96 | 40.71 |
| 1 | 1 | 986.22 | 1045.46 | 141.71 |
| 1 | 2 | 951.51 | 948.33 | 346.01 |
| 1 | 3 | 963.08 | 792.12 | 109.41 |
| 1 | 4 | 749.03 | 972.61 | 111.61 |
| 2 | 1 | 1032.50 | 214.24 | 55.81 |
| 2 | 2 | 893.66 | 290.84 | 40.51 |
| 2 | 3 | 893.66 | 290.84 | 40.51 |
| 2 | 4 | 939.94 | 623.00 | 67.21 |
| 3 | 1 | 997.79 | 895.88 | 48.71 |
| 3 | 2 | 963.08 | 153.02 | 55.81 |
| 3 | 3 | 841.59 | 594.28 | 79.31 |
| 3 | 4 | 783.74 | 821.89 | 82.71 |
| 4 | 1 | 951.51 | 569.14 | 74.41 |
| 4 | 2 | 1625.34 | 682.81 | 38.41 |
| 4 | 3 | 1370.80 | 216.24 | 28.71 |
| 4 | 4 | 824.24 | 393.87 | 35.71 |
| 5 | 1 | 824.24 | 521.07 | 67.71 |
| 5 | 2 | 3253.45 | 779.85 | 38.71 |
| 5 | 3 | 1833.60 | 477.80 | 45.51 |
| 5 | 4 | 858.95 | 610.12 | 40.41 |
| 6 | 1 | 980.43 | 803.47 | 93.91 |
| 6 | 2 | 1020.93 | 969.87 | 147.41 |
| 6 | 3 | 1833.60 | 606.17 | 73.71 |
| 6 | 4 | 1009.36 | 501.65 | 74.41 |
| 7 | 1 | 1009.36 | 1333.57 | 162.11 |
| 7 | 2 | 1032.50 | 570.21 | 134.91 |
| 7 | 3 | 1833.60 | 450.08 | 118.71 |
| 7 | 4 | 992.00 | 742.50 | 79.71 |
| 8 | 1 | 592.84 | 575.98 | 80.31 |
| 8 | 2 | 986.22 | 969.87 | 147.41 |
| 8 | 3 | 1032.50 | 684.20 | 270.01 |
| 8 | 4 | 835.81 | 594.16 | 51.01 |
| 9 | 1 | 1032.50 | 978.78 | 75.51 |
| 9 | 2 | 1032.50 | 1240.80 | 202.51 |
| 9 | 3 | 1717.90 | 775.78 | 191.71 |
| 9 | 4 | 835.81 | 730.85 | 75.91 |