

ACIDOS HUMICOS Y ELEMENTOS MENORES EN LA
NUTRICION DEL CULTIVO DE PAPA
(Solanium tuberosum, L.)

ERNESTO SIFUENTES IBARRA

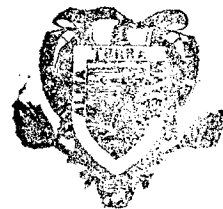
T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

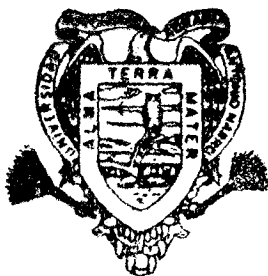
MAESTRO EN CIENCIAS

EN SUELOS

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

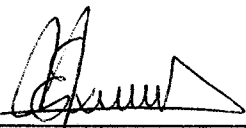
DICIEMBRE DE 1995

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

AGRADECIMIENTO

A mi "Alma Terra Mater" por haberme recibido en su seno y darme esta nueva oportunidad para mi superación personal.

Al C.P.A. y especialmente al Dr. Eduardo A. Narro Farías por su orientación y conocimientos transmitidos a lo largo del programa de Maestría.

A todos los maestros, laboratoristas y personal en general del Departamento de Suelos que me apoyaron en las actividades desarrolladas en este trabajo.

A mis compañeros y amigos por su estímulo.

DEDICATORIA

Con respeto para mi Familia y con cariño para la Srita. Blanca E. Montoya G.

COMPENDIO

Acidos Húmicos y Elementos Menores en la Nutrición del cultivo de papa
(Solanum tuberosum, L.).

POR

ERNESTO SIFUENTES IBARRA

MAESTRIA

SUELOS

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

DR. EDUARDO A. NARRO FARIAS -ASESOR-

Palabras claves: Papa, suelo alcalino, fierro, zinc, manganeso, ácidos húmicos.

En esta investigación se buscó conocer el efecto que tienen los ácidos húmicos (AH) en la dinámica del Fe, Zn y Mn dentro del suelo y la planta, mediante análisis físicos y químicos de ambos; así mismo, explicar la influencia de estos elementos en el crecimiento y desarrollo de la planta, para

sugerir un nivel adecuado en la nutrición del cultivo y mejoramiento físico-químico del suelo.

Con el tratamiento F2Z2M2H3, al que se le aplicó el nivel alto de AH (160 kg/ha) y los niveles medios de Fe, Zn y Mn, se presentó un incremento en la retención de humedad por el suelo a capacidad de campo, así como las mayores cantidades de nutrimentos extraídos por la planta, principalmente N. Con el mismo, se reportó la mayor producción de tubérculos totales a los 75 días después de la siembra.

Por otro lado, la dosis alta de Zn en la primera etapa del cultivo, promovió el crecimiento, así como el contenido de materia orgánica en el suelo. Hubo respuesta positiva al Fe desde el inicio, y al Mn la respuesta fue lo contrario.

ABSTRACT

Humic Acids and Minor Elements at Nourishment of potato crop (*Solanum tuberosum*, L.).

By

ERNESTO SIFUENTES IBARRA

MASTER IN SCIENCE

SOILS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DECEMBER OF 1995.

DR. EDUARDO A. NARRO FARIAS -ADVISOR-

Key words: Potato, alkaline soil, iron, zinc, manganese, humic acids.

The effect of humic acids (HA) in dynamics of Fe, Zn and Mn within soil and plant was sought to know, throughout physical and chemical analysis. As well as, to determine the most adequate level for the best growth and development of the crop.

With the treatment F2Z2M2H3, which was applied the high level of AH (160 kg/ha) and the levels means of Fe, Zn and Mn, an increase in the dampness withholding by soil to field capacity was presented, as well as the greater quantities of nutrients by the plant extracted, mainly N. With the same, the greater total tuber production (75 days after sowing) was reported.

On the other hand, the high dose of Zn in the first stage of the cultivation, promoted the growth, as well as organic matter content in soil. There was positive response to Fe from the beginning, and to Mn, response was inverse.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág
INDICE DE CUADROS.....	xii
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	5
DESCRIPCION GENERAL DEL CULTIVO.....	5
IMPORTANCIA ECONOMICA Y SOCIAL.....	5
DESCRIPCION BOTANICA Y TAXONOMICA.....	6
REQUERIMIENTOS CLIMATICOS Y FISIOLOGIA DE CRECIMIENTO.....	7
ZONAS DE ADAPTACION.....	7
TEMPERATURA.....	7
LUZ.....	8
HUMEDAD.....	8
REQUERIMIENTOS EDAFICOS Y NUTRIMENTALES.....	9
SUELO.....	9
COMPOSICION ELEMENTAL DE LOS TEJIDOS DE LA PLANTA.....	9
IMPORTANCIA DE LOS MICROELEMENTOS EN LA AGRICULTURA.....	13
HIERRO EN SUELO Y PLANTA.....	13
HIERRO EN SUELO.....	13
FORMAS Y FUNCION DEL Fe EN LAS PLANTAS.....	14
INTERACCIONES.....	15
SINTOMAS DE DEFICIENCIA.....	15
SINTOMAS DE EXCESO.....	15
ZINC EN SUELO Y PLANTA.....	16
ZINC EN SUELO.....	16
FORMAS Y FUNCION DEL Zn EN LAS PLANTAS.....	17
INTERACCIONES.....	18
DEFICIENCIA DE Zn EN SUELO Y PLANTA.....	19
MANGANESO EN SUELO Y PLANTA.....	20
MANGANESO EN EL SUELO.....	20
FORMAS Y FUNCION DEL Mn EN LAS PLANTAS.....	21
INTERACCIONES.....	22
SINTOMAS DE DEFICIENCIA.....	23
SINTOMAS DE EXCESO.....	23
DEFICIENCIAS DE ELEMENTOS MENORES EN PAPA.....	24
DEFICIENCIAS EN SUELOS CALCAREOS.....	24
DEFICIENCIA DE Fe EN PAPA.....	25
DEFICIENCIA DE Zn EN PAPA.....	25
CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS SUSTANCIAS HUMICAS.....	26
DEFINICIONES.....	26

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES.....	27
CARACTERISTICAS DEL RADICAL LIBRE.....	27
EFFECTOS DE ABSORCION.....	28
LOS ACIDOS HUMICOS EN LA AGRICULTURA.....	28
EFECTO EN LAS PROP. FISICAS DEL SUELO.....	28
EFECTO SOBRE LAS PROP. QUIMICAS DEL SUELO.....	30
REACCION DE LAS SUSTANCIAS HUMICAS CON Fe EN EL SUELO.....	32
REACCION DE LOS ACIDOS HUMICOS CON Mn EN EL SUELO.....	32
LAS SUSTANCIAS HUMICAS EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.....	33
MATERIALES Y METODOS.....	35
LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL.....	35
LOCALIZACION.....	35
DESCRIPCION.....	36
CLIMA.....	36
PRECIPITACION PLUVIAL.....	36
TEMPERATURA.....	36
SUELO.....	36
AGUA.....	37
MATERIALES EMPLEADOS EN EL EXPERIMENTO.....	37
SEMILLA.....	37
SUSTANCIAS HUMICAS.....	39
FERTILIZANTES APLICADOS AL SUELO.....	39
FERTILIZANTES FOLIARES.....	40
DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO.....	40
DISEÑO DE TRATAMIENTOS.....	40
PARCELA EXPERIMENTAL.....	41
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	42
APLICACION DE TRATAMIENTOS.....	42
CROQUIS DEL EXPERIMENTO.....	43
MANEJO DEL CULTIVO.....	44
PREPARACION DEL TERRENO.....	44
SIEMBRA.....	44
APORQUES.....	45
RIEGOS.....	45
FERTILIZACION.....	45
CONTROL DE PLAGAS.....	45
CONTROL DE ENFERMEDADES.....	46
DESVARE.....	46
VARIABLES EVALUADAS AL SUELO.....	46
ANALISIS GRANULOMETRICO Y TEXTURA.....	46
DENSIDAD DE SOLIDOS.....	47
DENSIDAD APARENTE.....	47
ESPACIO POROSO.....	47

CAPACIDAD DE CAMPO.....	47
PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE.....	48
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA.....	48
pH.....	48
CARBONATOS TOTALES.....	49
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.....	49
PORCIENTO DE SATURACION DE BASES.....	49
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.....	49
NITROGENO TOTAL.....	50
FOSFORO TOTAL.....	50
POTASIO TOTAL.....	51
VARIABLES EVALUADAS A PLANTA.....	51
PRIMERA MEDICION DE ALTURA.....	51
SEGUNDA MEDICION DE ALTURA.....	51
NUMERO DE TALLOS POR METRO.....	51
NUMERO DE TALLOS POR PLANTA.....	52
DIAMETRO DE TALLOS.....	52
NUMERO DE TUBERCULOS.....	52
DIAMETRO DE TUBERCULOS.....	53
PESO FRESCO DE TUBERCULOS.....	53
PESO SECO DE TALLOS, HOJAS Y TUBERCULOS.....	53
MATERIA SECA TOTAL (BIOMASA).....	54
ANALISIS FOLIAR.....	54
RESULTADOS Y DISCUSION.....	55
CARACTERISTICAS FISICAS EVALUADAS AL SUELO.....	55
ANALISIS GRANULOMETRICO Y TEXTURA.....	55
DENSIDAD APARENTE.....	56
DENSIDAD DE SOLIDOS.....	57
ESPACIO POROSO.....	57
CONSTANTES DE HUMEDAD.....	57
ANALISIS QUIMICO DE SUELO Y PLANTA.....	58
ANALISIS DE LA MUESTRA INICIAL DE SUELO.....	58
ADICION DE NUTRIMENTOS MEDIANTE FERTILIZANTES INORGANICOS.....	59
ANALISIS FOLIAR Y EXTRACCION DE NUTRIMENTOS DESDE EL SUELO.....	60
ANALISIS QUIMICO FINAL DEL SUELO.....	64
EVALUACION A LAS PARTES DE LA PLANTA.....	75
CONCLUSIONES.....	81
RESUMEN.....	83
LITERATURA CITADA.....	85
APENDICE A.....	88
APENDICE B.....	.91
APENDICE C.....	.95
APENDICE D.....	100

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
2.1. Concentración de nutrimentos en los tejidos de la planta de papa. (Wolworth y Muñiz (1993)).....	11
2.2. Características estructurales de las sustancias húmicas.....	27
3.1. Datos climatológicos durante el trabajo de campo en Emiliano Zapata.....	37
3.2. Fertilizantes aplicados al suelo fuente y composición elemental.....	39
3.3. Fertilizantes foliares aplicados al cultivo durante el trabajo	40
3.4. Composición de los nueve tratamientos aplicados.....	41
4.1. Resultados promedio del análisis físico del suelo realizado al final del trabajo.....	56
4.2. Resultados del análisis químico de la muestra inicial de suelo	58
4.3. Cantidad de nutrimentos suministrados mediante fertilizantes inorgánicos.....	60
4.4. Resultados del análisis foliar de nueve muestras compuestas realizado antes de la floración del cultivo.....	61
4.5. Extracción de nutrimentos desde el suelo por el cultivo en base a M.S. hojas.....	63
4.6. Extracción de nutrimentos desde el suelo por el cultivo en base a biomasa.....	63
4.7. Resultados promedio del análisis químico realizado al suelo al final del ciclo.....	64
4.8. Concentración de elementos menores por tratamiento en suelo al final del ciclo.....	65
4.9. Datos promedio de las mediciones hechas a tallos en dos etapas del cultivo.....	76
4.10. Datos promedio de las mediciones realizadas a tubérculos (75 días después de siembra).....	77
4.11. Producción promedio por tratamiento de biomasa y tubérculos (última etapa).....	80
A.1. Análisis granulométrico y textura.....	89
A.2. Densidad aparente: muestras simples.....	89
A.3. Densidad de sólidos: muestras simples.....	89
A.4. Espacio poroso: muestras simples.....	90
A.5. Contenido de humedad a CC muest. simple	90
A.6. Contenido de humedad a PMP muest. simples	90
B.1. Determinación: materia orgánica (%).....	92
B.2. Determinación: pH.....	92
B.3. Determinación nitrógeno total.(kg/ha).....	92
B.4. Determinación fósforo total (kg/ha).....	93
B.5. Determinación potasio total (kg/ha).....	93
B.6. Determinación carbonatos totales (%).....	93
B.7. Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g).....	94

B.8	Determinación saturación de bases (%).....	94
B.9	Conductividad eléctrica (dS/m).....	94
C.1.	Primera medición de altura (cm).....	96
C.2.	Segunda medición de altura (cm).....	96
C.3.	Diámetro de tallos (cm).....	96
C.4.	Número de tallos por planta.....	97
C.5.	Número de tallos por metro.....	97
C.6.	Número de tubérculos por planta.(75 días).....	97
C.7.	Diámetro polar de tubérculos (cm), 75 dds.....	98
C.8.	Diámetro ecuatorial de tubérculos, 75 dds.....	98
C.9.	Biomasa (ton/ha) a los 75 días después de la siembra.....	98
C.10.	Tubérculos totales a los 75 días después de la siembra.....	99
D.1.	Datos requeridos para el ANVA en base al experimento.....	101
D.2.	Resultados de los ANVA en las propiedades físicas del suelo.....	101
D.3.	Resultados de los ANVA en las propiedades químicas del suelo....	102
D.4.	ANVA para la variables evaluadas a planta.....	103
D.5.	Abreviaciones utilizadas y sus unidades	104

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
3.1. Distribución de los tratamientos en el sitio experimental.....	43
4.1. Contenido de N en el suelo antes de la floración y al final del ciclo.....	68
4.2. Fósforo en suelo (dos etapas del cultivo).....	69
4.3. Potasio en suelo (dos etapas del cultivo)	70
4.4. Cantidad de Fe antes de la floración y al final del ciclo del cultivo.....	71
4.5. Zinc en suelo después de la extracción por la planta y al final del ciclo.....	72
4.6. Manganeso en el suelo después de la extracción por la planta antes de la floración, y al final del ciclo.....	74
4.7. Efecto de los tratamientos en biomasa.....	78
4.8. Efecto de los tratamien. en producción de tubérculos totales, 75 días después de la siembra.....	79

INTRODUCCION

La papa es uno de los más importantes alimentos de consumo humano a nivel mundial por sus propiedades alimenticias y en lo social genera empleos ya que requiere gran cantidad de mano de obra para su producción.

A nivel nacional ocupa un lugar importante en extensión cultivada con 81 245 ha. distribuidas en zonas como Puebla, Sinaloa, Veracruz, México, Guanajuato, Nuevo León y Coahuila entre las más importantes, con un rendimiento medio de 15.83 ton/ha. En una región entre los estados de Coahuila y Nuevo León donde se generó este trabajo, se cosechan 4 163 ha equivalentes al 5.12 por ciento nacional con un rendimiento por hectárea de 30 a 35 toneladas que representa uno de los más altos en el país (INEGI, 1994).

Pese a las limitaciones que se tienen de suelo y clima se han aumentado los rendimientos en esta zona gracias a la aplicación de tecnología principalmente. Entre los mayores problemas derivados del suelo se presenta la deficiente nutrición de la planta.

Específicamente el problema se origina de las condiciones inadecuadas (físicas, químicas y biológicas) en el suelo para proveer a la planta de los nutrimentos que existen en él y los que se le suministran por medio de otras fuentes; generalmente en el suelo muchos nutrimentos como P, K, Ca, Fe, Zn y Mn están en constante reacción con algunos minerales característicos de los suelos de esta región como carbonatos y forman compuestos que la planta no puede tomar por la raíz.

La mayoría de los estudios relacionados con la nutrición de los cultivos se refieren a N, P y K; sin embargo, investigaciones recientes afirman que elementos como Fe, Cu, Zn y Mn son de gran importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a que intervienen en muchas funciones importantes de éstas, como la fotosíntesis y la producción de hormonas de crecimiento, además, interactúan con otros nutrimentos importantes tanto en el suelo como en la planta.

Por lo anterior se hacen necesarias más investigaciones acerca de los elementos menores. En este trabajo se realiza un estudio del Fe, Zn y Mn por considerar que influyen más en este cultivo que el resto de los menores, además, se manejaron sustancias húmicas, por el impacto que tienen en beneficio de la planta y suelo.

Las hipótesis que se plantearon fueron las que a continuación se enumeran:

1. Al aplicar sustancias húmicas al suelo, se promoverá indirectamente la producción de materia orgánica, que es importante en el mejoramiento de las características físicas y químicas del suelo (densidad aparente, contenido de humedad, pH, etc.) determinantes en la toma de la mayoría de nutrientes por la planta desde el suelo.
2. Si se le suministra al cultivo Fe, Zn y Mn en combinación con ácidos húmicos, habrá más cantidades disponibles en el suelo de éstos (disminuye la fijación por CO_3) debido al efecto quelatante de la materia orgánica y los ácidos húmicos, aumentando la extracción aunque podrán presentarse interacciones en suelo y planta.
3. El efecto del aprovechamiento del Fe, Zn y Mn por la planta, e indirectamente del resto de los nutrientes presentes en el suelo (incluyendo los suministrados en la fertilización de fondo), se reflejará en crecimiento y desarrollo adecuado (altura, producción de materia seca, número de tubérculos y tallos, etc.).

De acuerdo a las hipótesis, los objetivos fueron los que siguen:

1. Conocer el efecto que tienen las sustancias húmicas en la dinámica del Fe, Zn y Mn dentro de suelo y planta mediante análisis físicos y

químicos de ambos, y explicar la influencia de éstos en la planta, de acuerdo al papel fisiológico que desempeñan en ella.

2. Determinar el nivel más adecuado de los tres microelementos para el buen desarrollo de la planta, donde se eviten interacciones negativas de elementos y se promueva el mejoramiento físico, químico y biológico del suelo.

REVISION DE LITERATURA

Descripción General del Cultivo

Importancia Económica y Social

Horton (1987) menciona que la papa es uno de los más importantes cultivos alimenticios en los países desarrollados y en vías de desarrollo por su uso industrial y su consumo en fresco. Actualmente los países desarrollados producen el 30 por ciento de las papas del mundo y llega a ser una importante fuente de empleo en el medio rural. Como cultivo alimenticio y en términos monetarios ocupa el cuarto lugar en importancia a nivel mundial.

FAO (1993) en la estadística número 117 para México registra el cuarto lugar en superficie cosechada (74 000 ha) en norte y centro América y en quinto lugar en rendimiento con 16 351 kg/ha.

INEGI (1994) encontró una superficie total cosechada a nivel nacional para el año 1990 de 81 252 ha que produjeron 1 285 751 ton con un rendimiento por hectárea de 15.83 ton. Reporta para el estado de Coahuila una superficie cosechada de 1 542 ha con una producción de 55 347 ton y un rendimiento por

hectárea de 35.89 ton. Este Instituto coloca al estado de Nuevo León con 2 621 ha cosechadas que producen 80 037 ton y con rendimiento medio de 30.54 ton/ha.

Descripción Botánica y Taxonómica

Valadez (1994) describe a la papa como una planta herbácea anual y perenne por su propagación vegetativa, sus tallos son aéreos y subterráneos (compuestos por estolones y tubérculos), hojas compuestas por folíolos largos y ovoides, flores perfectas y frutos de 2 cm de diámetro. La clasifica de la siguiente manera:

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Especies: tuberosum

andigenum

demissum

Nombre común: Papa

Requerimientos Climáticos y Fisiología de Crecimiento

Zonas de Adaptación

Harris (1978) señala que las papas cultivadas son generalmente mejor adaptadas a zonas de temperaturas frescas en regiones de los Andes en altitudes que oscilan entre los 2 000 y 3 500 m. En regiones de Norteamérica, Europa, sur de Chile y Argentina también crecen en temperaturas a nivel del mar, y en altitudes adecuadas se desarrollan en latitudes intermedias.

Temperatura

Prospera mejor en climas frescos, la temperatura óptima es de 7.2 a 18.3 °C y la media de 15.5 (Edmon, 1981).

La temperatura mínima que tolera es de 2 °C. Las temperaturas para los diferentes estados de crecimiento son: 7 °C para la germinación, 14 °C para la floración. El límite máximo se considera de 26 a 29 °C (Díaz, 1989).

Moorby (1978) menciona que después de la emergencia hay un crecimiento rápido de hojas y la planta empieza ser autótrofa cuando tiene de 200 a 400 cm² de área foliar, sin embargo, la transferencia de reservas desde el tubérculo madre continúa hasta que se agoten. Afirma que en este estado es

sensible a los factores ambientales como la temperatura, radiación, suministro de agua y nutrimentos minerales.

Luz

La relación follaje-crecimiento de tubérculo en favor del crecimiento del mismo, se ve desplazada en presencia de mucha luz. Debido a ello en las regiones tropicales y subtropicales a gran altura, los cultivos producen rendimientos altos (Zaag y Vander, 1979).

Durante la preemergencia la semilla-tubérculo produce brotes, la raíz y el estolón comienza a desarrollarse en los nudos y la luz juega el papel más importante que controla la expansión de los internudos (Moorby, 1978).

Humedad

La planta durante todo su desarrollo necesita 500 mm de agua, ésta debe distribuirse de acuerdo al desarrollo del cultivo; en la primera etapa necesita poca agua, demandando la mayor cantidad en la etapa de formación y desarrollo de los tubérculos. Es importante que el suelo siempre se mantenga húmedo para el buen desarrollo del tubérculo (Harris, 1978).

La tuberización empieza después de dos semanas y el desarrollo de los tubérculos depende del suficiente follaje para producir los fotosintatos necesarios y

de un adecuado suministro de agua. Cerca del 90 por ciento de materia seca acumulada por los tubérculos es de la fotosíntesis la cual ocurre después del inicio de la tuberización (Moorby, 1978).

Requerimientos Edáficos y Nutrimientales

Suelo

El suelo debe ser profundo, bien drenado, libre de piedras, de sales y patógenos (Peña y Bermúdez, 1948).

Valadez (1994) dice que la papa se desarrolla en suelos francos y arenosos, con buen contenido de materia orgánica y drenaje adecuado, donde el pH sea de 6.5 a 5.0 y la concentración de sales de 64 000 a 2 560 ppm (10 a 4 dS/m).

Composición Elemental de los Tejidos de la Planta

Harris (1978) encontró que la concentración de N, P y K en la materia seca varía con el tiempo y los componentes de la producción. La concentración de N siempre es la mayor en hojas y alcanza valores hasta de 6 por ciento pronto en la vida del cultivo, la mas alta concentración de K ocurre en los tallos con valores sobre el 8 por ciento.

Las concentraciones de P fueron alrededor de una décima de los otros dos nutrimentos y varía menos con los componentes de la producción.

La máxima acumulación de nutrimentos se da a los 128 días después de sembrar, cuando los tubérculos tienen 77, 89 y 79 por ciento del total de N, P y K respectivamente.

La cantidad de Ca es dos veces más que el Mg y cuatro veces más que el S, sin embargo, solo el 6 por ciento de Ca está en los tubérculos comparado con el 41 y 55 por ciento de Mg y S respectivamente.

Walworth y Muñiz (1993) en una revisión literaria encontraron la relación entre las concentraciones de nutrimentos de los tejidos de papa y rendimiento que se presenta en el Cuadro 2.1.

Estos autores seleccionaron los rangos óptimos de la concentración de cada uno de los nutrimentos que la planta de papa utiliza para obtener el máximo rendimiento. Lo anterior para cada una de las etapas de crecimiento de la planta de acuerdo a la parte de la planta analizada.

Cuadro 2.1. Concentración de nutrimentos en los tejidos de la planta de pap (*Solanum tuberosum*, L.).

Elemento	Etapas de crecimiento	Rango de conc. (%)	Nivel nutricional
Nitrógeno (NO ₃) en pecíolos	Inicial Media Última	0.94-2.50 0.53-3.17 0.35-1.80	Suficiencia
Nitrógeno (NT) en pecíolos	Inicial Media Última	3.50-7.00 1.42-6.00 2.25-5.00	Suficiencia
Nitrógeno (NT) en hojas	Inicial Media Última	6.00 5.00 4.00	Suficiencia
Nitrógeno (NT) tubérculos	Inicial Cosecha	5.47 1.78	Suficiencia
Fósforo (PT) en hojas	Inicial Media Última	0.60 0.40 0.20	Suficiencia
Fósforo sol. (PO ₄ -P) en pecíolos	Inicial Media Última	0.16-0.26 0.14-0.16 > 0.10	Suficiencia
Fósforo (PT) en pecíolos	Inicial Media Última	0.22-0.75 0.15-0.50 0.14-0.50	Suficiencia
Fósforo (PT) en tubérculos	Inicial Cosecha	0.57 0.16	Suficiencia
Potasio (KT) en hojas	Inicial Media Última	5.00 3.50 2.50	Suficiencia
Calcio (CaT) en pecíolos	Media	0.40-2.50	Suficiencia

Cuadro 2.1.continuación

Elemento	Etapas de crecimiento	Rango de conc. (%)	Nivel nutricional
Calcio (CaT) en tubérculos	Inicial Cosecha	1207 ppm 126 ppm	Suficiencia
Magnesio (MgT) en pecíolos	Inicial Media Última	0.17-1.10 0.26-1.25 0.11-1.00	Suficiencia
Magnesio (MgT) en hojas	Media	0.26-1.25	Suficiencia
Fierro en hojas	Media Última	< de 11 ppm 30-39 ppm	Bajo
Fierro en hojas	Media Última	11-300 40-100	Suficiencia
Fierro en hojas	Media Última	301-500 ppm > de 100 ppm	Alto
Manganeso en hojas	Media Última	< de 10 ppm < de 10 ppm	Deficiente
Manganeso en hojas	Media Última	10-20 ppm 20-29 ppm	Bajo
Manganeso en hojas	Media Última	21-200 ppm 30-250 ppm	Suficiencia
Zinc en pecíolos	En las 3 etapas	15 ppm	Deficiencia
Zinc en pecíolos	En las 3 etapas	16-20 ppm	Bajos
Zinc en pecíolos	En las 3 etapas	21-70 ppm	Suficiencia

Importancia de los Microelementos en la Agricultura

Browen y Kratky (1983) mencionan que de los 16 elementos esenciales de las plantas, siete se denominan microelementos y son: Fe, Cu, Zn, B, Mo, Mn y Cl. Ellos dicen que la deficiencia de uno de ellos puede causar reducción grave del rendimiento y en condiciones extremas el fracaso total del cultivo; también señalan que el origen de las deficiencias puede ser por el tipo de suelo (pH y material original). la materia orgánica (cambia pH y propiedades físicas), la actividad microbiana (el metabolismo de microorganismos induce deficiencias), la humedad del suelo (aireación) y el consumo del elemento.

Hierro (Fe) en Suelo y Planta

Hierro en el Suelo

André (1988) menciona que el contenido de hierro soluble representa una parte pequeña del total, y que las formas solubles inorgánicas en solución son: Fe^{+++} , Fe^{++} y en menor escala $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Jones *et al.* (1991) dicen que el Fe existe en el suelo como catión férrico (Fe^{+3}) y ferroso (Fe^{+2}), siendo la segunda la forma activa que toman las plantas y su disponibilidad se afecta por el grado de aireación del suelo. Comentan que las

Plantas deficientes de Fe acidifican la rizósfera tan bien como se descargan sustancias compuestas de Fe y mejoran la disponibilidad y extracción.

Formas y Función del Hierro en las Plantas

Las raíces lo toman como Fe^{++} o en forma de quelato. La absorción de Fe inorgánico está ligada a la capacidad de las raíces a reducir el pH y reducir el Fe^{+++} en Fe^{++} en la rizósfera. Dentro de los procesos fisiológicos, participa en la cadena de transporte de electrones en la fotosíntesis así como en el metabolismo de las proteínas (André, 1988).

Jones *et al.* (1991) reportaron que el Fe es un componente de la proteína ferredoxina y se requiere para la reducción de sulfatos, nitratos, asimilación de N y producción de energía (NADP) y funciona como catalizador de un sistema enzimático asociado con la formación de clorofila.

Los rangos de concentración según estos autores, en hojas son de 10 a 1000 ppm en la materia seca con rangos de suficiencia de 50 a 75 ppm, aunque el Fe total no se relaciona con suficiencia. Comentan que la mayoría del Fe en planta esta en forma férrica (Fe^{+3}) como fosfoproteína férrica y el ion ferroso (Fe^{+2}) es la forma metabólicamente activa.

Interacciones

Altos contenidos de P disminuyen la solubilidad del Fe en planta, una relación P:Fe de 29:1 es la media para la mayoría de las plantas. El K incrementa la movilidad y solubilidad del Fe, mientras que el N acentúa la deficiencia debido al incremento del crecimiento. El anión bicarbonato se cree que interfiere con la traslocación del Fe.

Sintomas de Deficiencia

La clorosis internerval de las hojas jóvenes es el síntoma típico de la deficiencia. Cuando la severidad de la deficiencia se incrementa, la clorosis se extiende a las hojas viejas.

Sintomas de Excesos

El Fe puede acumularse en cientos de ppm sin síntomas de toxicidad. Esta produce un bronceado de las hojas con diminutos puntos cafés en las hojas, un síntoma típico frecuentemente ocurre con arroz.

Zinc (Zn) en Suelo y Planta

Zinc (Zn) en el Suelo

Barrow (1993) menciona que el Zn está en el suelo en cuatro formas principales: intercambiable, adsorbido específicamente, limitado en la materia orgánica y dentro de las partículas. Puede reaccionar con minerales arcillosos, materia orgánica y óxidos de metales semejantes como Fe y Mg.

Jones *et al.* (1991) lo reportan en la solución como catión Zn^{+2} , como Zn intercambiable y como complejos orgánicos de Zn y agregan que su disponibilidad se afecta por un alto pH y P.

Mortvedt y Gilkes (1993) proponen cuatro fuentes de Zn que son: inorgánico, quelatos sintéticos, complejos orgánicos sintéticos y complejos inorgánicos; sugieren que se aplique al suelo en cantidades menores a los 10 kg/ha y advierten que las reacciones químicas pueden reducir la disponibilidad de algunas fuentes de Zn, por ejemplo, cuando se mezcla el ZnEDTA con ácido fosfórico antes de la amoniación, la descomposición del ácido (molécula de quelato) provoca un decremento en la disponibilidad de Zn.

Marschner (1993) menciona que la mayoría del Zn en el suelo está en la superficie de arcillas y materia orgánica y no en la solución del suelo (Armour *et al.*,

1990), pero primero es tomado de ésta por las raíces; especifica que la concentración en la solución del suelo (intensidad) y la velocidad de recarga son las que determinan la disponibilidad. El mismo señala que mediante el DTPA (zinc extractable) se puede estimar la probabilidad de suministro de zinc hacia las raíces para encontrar la demanda por la planta usando un valor medio de 3 kg de Zn/ha en el suelo a 20 cm de profundidad.

Formas y Función del Zn en las Plantas

En las plantas el Zn no de cambia valencia como el Mg o el Mn. La mayoría en las hojas se asocia con compuestos de bajo peso molecular, almacenamiento de metaloproteínas, iones libres y formas insolubles relacionadas con las paredes celulares.

Longnecker y Robson (1993) observaron la deficiencia de Zn en las plantas y concluyeron que éste es inmóvil en el floema; aseguraron que en el xilema al absorberse por las raíces es rápidamente transportado para los retoños como un catión en la savia de estos vasos. Mencionaron que en el floema la traslocación es variable y depende del suministro de Zn, comentan que cuando se aplica en forma foliar existe confusión acerca de su traslocación.

Brown *et al.* (1993) encontraron que las funciones principales del Zn en los procesos fisiológicos son el metabolismo de los carbohidratos, la fotosíntesis y el metabolismo de las auxinas.

Jones *et al.* (1991) citan que el Zn es un micronutriente esencial que está involucrado en las mismas funciones enzimáticas que el Mn o Mg y solo la anhidrasa carbónica se encontró ser específicamente activada por el Zn. Manejar niveles de suficiencia en hojas de 15 a 50 ppm en la materia seca mientras que en algunas especies la deficiencia se da en 12 ppm.

Sanders (1993) reportó al Zn como activador de diversas enzimas involucradas en la biosíntesis del ácido indolacético IAA, reductor del contenido de auxina a través de su intervención en la síntesis de triptófano, precursor de la auxina. Señaló que la anhidrasa carbónica tiene al Zn en su composición química como molécula catalizadora de la descomposición del ácido carbónico y agua.

Interacciones

Floneragan y Webb (1993) reportan las interacciones del zinc que en la continuación se mencionan:

1. Interacciones Zn-pH: es sensible a los cambios de pH en la rizósfera

2. Interacciones P-Zn: suprime infección de la raíz por micorrizas, el P inhibe la absorción de Zn en solución
3. Interacciones N-Zn: existe interacción positiva
4. Con cationes de macronutrientes: Ca, Mg y K
5. Interacciones Fe-Zn: incremento de Fe, disminuye la concentración de Zn en los tejidos de la planta, pero el efecto de absorción de Zn por las raíces de las plantas es poco.

Jones *et al.* (1991) indican que las relaciones entre P y Zn ha sido intensamente estudiada, tales investigaciones sugieren que alto P puede interferir con el metabolismo de Zn y con la extracción a través de la raíz. Alto Zn induce la deficiencia de Fe en muchas plantas, sobre todo aquellas sensibles a Fe.

Deficiencia de Zn en Suelo y Planta

Sanders (1993) menciona que las plantas que crecen en suelos que son muy altos en P y bajos en Zn, muestran una deficiencia de Zn y en suelos con suficiente Zn, aplicaciones de P no causan deficiencias de Zn en la planta. La papa está considerada como de respuesta media al Zn.

Brennan *et al.* (1993) señalan que el síntoma más común de una deficiencia aguda es el crecimiento reducido, internudos cortos y hojas pequeñas malformadas (roseta) en crecimientos jóvenes de dicotiledóneas y tallos en forma

de abanico en monocotiledóneas. Con frecuencia los síntomas se ven en hojas jóvenes (el Zn se considera no móvil bajo condiciones de deficiencia). Estas hojas desarrollan clorosis internerval.

Robson (1993) sugiere que la deficiencia de zinc puede corregirse al tratarse el suelo de varias maneras, semillas o el follaje; o las raíces de cultivos de trasplante por baños o enriquecimiento de la cama de siembra con Zn. No obstante la gran efectividad de los quelatos (ZnEDTA), que otras fuentes de Zn pueden ser mas económicas para aplicarse, pero son requeridos niveles mas altos. Se recomiendan aplicar de 2.5 a 25 kg de Zn/ha como $ZnSO_4$ o de 0.3 a 6 kg como quelatos. Estas largas variaciones en el nivel de aplicación de Zn se han emanado de la sensibilidad de los cultivos, al tipo de suelo y al estado de deficiencia, al ambiente suelo, a la fuente de Zn y a su efecto residual; además, a los métodos de aplicación.

Manganeso (Mn) en Suelo y Planta

Manganeso en el Suelo

El Mn existe en la solución del suelo como cationes de Mn^{+2} y Mn^{+4} y como Mn intercambiable. La disponibilidad esta significadamente afectada por el pH del suelo, disminuyéndola cuando el pH se incrementa (Jones *et al.*, 1991).

Norvell (1988) encontró que el Mn participa en numerosas reacciones en suelos, como redox, intercambio del ion, adsorción específica y equilibrio de solubilidad. Reporta al Mn (II) como la forma predominante encontrada en la solución y en asociación con los sitios de intercambio sobre la superficie del suelo, mientras que el Mn (III) y Mn (IV) están en una variedad de fase sólidas ricas en óxidos.

Este autor en un estudio en suelos calcáreos asegura que el Mn^{+2} puede adsorberse específicamente sobre calcita o coprecipitarse con Ca^{+2} para formar $Mn-CO_3-CaCO_3$ en solución sólida; recomienda el sulfato de manganeso como el fertilizante más común aplicado en banda, pero no ignora el MnO, $MnCO_3$, $MnCl_2$, MnO_2 , quelatos de Mn y otras formas de Mn. Aclara que los fertilizantes de Mn generalmente descargan Mn^{+2} el cual reacciona con el suelo y llega a ser distribuido entre varias formas de la fase sólida y soluble recalca que en condiciones ácidas puede quedar en la solución o en formas intercambiables, pero en mas alto pH, es fuertemente adsorbido u oxidado a formas insolubles.

Formas y Función del Mn en la Planta

Loneragan (1988) dice que en la savia del xilema el Mn se mueve libremente con el flujo de la transpiración y su concentración y formas iónicas pueden variar; además, puede formar complejos menos estables con elementos del xilema como Cu, Fe, Ni o Zn.

En la savia del floema, la acumulación de Mn en las hojas no puede ser removido mientras que en las raíces y tallos si puede ser; y es altamente móvil del floema hacia semillas pero inmóvil para raíces.

Jones *et al.* (1991) lo reportan como micronutriente esencial que está involucrado en los procesos de oxidación y reducción en el sistema fotosintético de transporte de electrón. Es esencial en el fotosistema II y fotólisis, actúa como acompañante del ATP y enzima fosfoquinasa compleja y fosfotransferasa y activa oxidasas de IAA.

Su concentración de suficiencia en hojas maduras es de 10 a 50 ppm en materia seca. Los tejidos de las hojas alcanzan 200 ppm o más (ej: soya 600 ppm; algodón 700 ppm y camote 1380 ppm) antes que se desarrolle toxicidad severa.

Interacciones

Adicionando Mn con fertilizantes de P puede reaccionar para formar productos de limitada solubilidad los cuales reducen la movilidad y disponibilidad de Mn. Se ha encontrado el ortofosfato $MnNH_4PO_4 \cdot H_2O$ en residuos de fertilizantes de $MnSO_4$ incorporado en DAP o MAP aplicado en suelos ligeramente ácidos o alcalinos. En condiciones reducidas donde el Fe existe, el incremento de Fe inhibe la absorción de Mn. Este tipo de inhibición puede ser recíproca (Norvell, 1988).

Síntomas de Deficiencia

Hannam y Ohki (1988) señalan los síntomas foliares característicos de la deficiencia de Mn como una clorosis difusa internerval sobre hojas jóvenes extendidas, la cual contrasta con el verde oscuro de las venas asociado con una deficiencia de Fe. Como la deficiencia de S y Fe, las hojas severamente deficientes de Mn, incluyen hojas jóvenes, pueden ser completamente cloróticas, pero con una deficiencia alta de Mn se pueden desarrollar puntos necróticos o una necrosis marginal. En las dicotiledóneas la clorosis se desarrolla al inicio sobre porciones distantes de hojas afectadas, en cereales la base de las hojas es lo primero en afectarse.

La aparición de síntomas de deficiencia de Mn sobre hojas jóvenes resulta de la inmovilidad de éste desde hojas jóvenes cuando el suministro es limitado. Es necesario tener clara la selección de tejidos jóvenes para la interpretación del análisis químico, bioquímico y fisiológico en orden para mejorar el diagnóstico con precisión.

Síntomas de Exceso

Jones *et al.* (1991) reportan que un exceso de Mn causa hojas viejas con manchas rodeadas por una zona clorótica o un círculo. Pecas negras sobre frutos

de semilla (manzana) se asemejan como sarampión y se piensa que pueden ser debido a una toxicidad de Mn.

Deficiencias de Elementos Menores en Papa

Locascio y Rhue (1990) mencionan que los oligoelementos son de uso común en la fertilización de papa en Florida, U.S.A., sin embargo, se encontró que incrementando niveles de P disminuyen la toma de Zn. Bingham reportó que se inducen deficiencias de Cu y Zn en algunas especies. Encontraron que las fuentes de P influyen en las concentraciones de Ca, Mg, Zn y Mn. Bajo condiciones de alto pH y P, la disponibilidad de micronutrientes desde fuentes de óxidos, sulfatos, quelatos, puede ser diferente e influir en la producción de papa.

Deficiencias en Suelos Calcáreos

Houghland (1964) dice que la deficiencia de Mn se reporta en suelos calcáreos porque bajo tales condiciones este elemento está en forma no disponible para las plantas. Otros elementos (boro y zinc) se afectan en forma similar por un exceso de carbonato de calcio.

Deficiencia de Fierro (Fe) en Papa

Houghland (1964) encontró en soluciones nutritivas, y omitiendo el Fe, que el primer síntoma en las papas es una escasa clorosis en hojas jóvenes, pero con puntas y márgenes que conservan su color verde. Las pigmentaciones amarillas aparecen también, así como tejidos amarillos pálidos y en casos extremos casi blancos, los tejidos cloróticos se doblan hacia arriba y las hojas que se desarrollan antes que aparezcan los síntomas conservan su color verde.

Deficiencia de Zinc (Zn) en Papa

Las hojas jóvenes de las plantas dañadas se enrollan hacia arriba y su crecimiento se parece al del helecho, por esto el término "hoja de helecho" se usa para describir el síntoma de deficiencia de Zn en papa. Muy poco es conocido sobre el metabolismo del Zn, algunos investigadores dicen que la acción es indirecta y se relaciona con la nutrición de P. Todas las plantas que crecen sin zinc son significativamente más cortas que lo normal y comúnmente bajas en peso de follaje y tubérculos (Houghland, 1964).

Características Generales de las Sustancias Húmicas

Definiciones

Choudhry(1984) divide la materia orgánica en dos grupos: sustancias no húmicas y sustancias húmicas. Las primeras incluyen compuestos simples de estructuras conocidas como carbohidratos, proteínas, péptidos, aminoácidos, grasas, ceras, resinas, pigmentos y otras sustancias orgánicas de bajo peso molecular; las segundas son complejas, hidrofílicas, ácidas, y polidispersas, de rangos de peso molecular desde varios cientos hasta miles.

En base a su solubilidad, en álcalis o ácidos, todas las sustancias húmicas (SH) se dividen en tres fracciones mayores: (i) ácido húmico (AH) el cual es soluble en solución alcalina diluida como el NaOH 0.5 N pero se precipita por acidificación con HCl 6M de pH 2; (ii) el ácido fúlvico (AF), es la fracción la cual queda en la solución acuosa acidificada, es soluble en ácidos o bases y (iii) huminas, las cuales no pueden extraerse por dilución de ácidos y bases. La insolubilidad de la tercera fracción se debe a la firmeza de la combinación con suelo orgánico y constituyentes del agua. La composición de las SH son plantas descompuestas y restos de animales que se consideran también humus.

Características Estructurales

Cuadro 2.2. Características estructurales de las sustancias húmicas (Tomado de Choudhry, 1984).

Elemento (%)	Acido Húmico	Acido Fúlvico
C	56.2	45.7
H	4.7	5.4
N	3.2	2.1
S	0.8	1.9
O	35.5	44.8
Suma	100.4	99.9

Grupos funcionales (meq/g)	Acido Húmico	Acido Fúlvico
Acidez total	6.7	10.3
CO ₂ H	3.6	8.2
Fenólicos OH	3.9	3.0
Alcohólicos OH	2.6	6.1
Quinonoides C=O	2.9	2.7
Ketonicos C=O	2.9	2.7
OCH ₃	0.6	0.8

+ Ácido húmico * Ácido fúlvico

Características del Radical Libre

Las sustancias húmicas se sabe que son ricas en radicales libres estables los cuales probablemente juegan un papel importante en reacciones de polimerización y depolimerización, con otras moléculas orgánicas, incluyendo pesticidas y contaminantes tóxicos y en los efectos fisiológicos que estas sustancias se sabe que ejercen.

Efectos de Absorción

Una de las principales características de las SH es su capacidad de absorber y retener agua en grandes cantidades. La tenencia de agua de las S por unidad de peso es de 5-10 veces mayor que los constituyentes inorgánicos del suelo. De acuerdo a Linser la capacidad de retener agua de muchos suelos es directamente proporcional a su contenido de humus. Otros autores afirman que los mecanismos de absorción de vapor de agua hacia los AH y AF de diferentes composición química, se debe a su contenido de oxígeno de los grupos funcionales.

Los Ácidos Húmicos en la Agricultura

Efecto en las Propiedades Físicas del Suelo

Narro (1994) cita que la materia orgánica afecta positivamente las características físicas, químicas y biológicas de interés agrícola de los suelos, Choudhry (1984) coloca a las sustancias húmicas como parte de la materia orgánica. Entre las características que mejora están:

Estructura: ésta se ve beneficiada al involucrarse varias fuerzas de enlaces intermoleculares, como puentes de hidrógeno, enlaces de éster, fuerzas de

Van Der Waals y enlaces de sal, influye además en la porosidad y flujo de agua por la planta.

Densidad aparente: se reduce al agregar bioactivadores húmicos, la principal razón es el efecto que ejercen en la formación de agregados y en la estructura del suelo.

Densidad de partículas sólidas: el valor promedio de ésta disminuye ya que las partículas orgánicas agregadas tienen menor densidad que los minerales del suelo.

Disminución en la resistencia a la penetración de raíces y crecimiento de órganos vegetales subterráneos: estos problemas del suelo se reducen por la acción de los bioactivadores húmicos y materia orgánica, lo que es de gran importancia en los cultivos que producen raíces, tubérculos o bulbos.

Compactación: se reduce por la acción indirecta de los bioactivadores húmicos y materia orgánica; además se facilita la labranza.

Profundidad: cuando el humus se transporta a capas profundas, incrementa la profundidad del suelo que puede ser utilizado por las raíces de las plantas.

Reducción en formación de costras y agrietamientos: en suelos arcillosos especialmente de arcillas expandibles y de ciénaga, el humus genera reducciones en la formación de costras y da estabilidad a los agregados que se forman en la capa superior del suelo. El fenómeno expansión-contracción disminuye lo cual reduce el agrietamiento del suelo.

Color: los bioactivadores húmicos causan oscurecimiento del suelo lo que permite absorber mayor cantidad de radiación solar.

Efectos Sobre las Propiedades Químicas del Suelo

Entre estas características químicas están las que menciona Narro (1994):

Solubilidad: la asociación de la materia orgánica y arcilla es insoluble en agua; también las sales de cationes trivalentes son insolubles con la materia orgánica. La parte aislada de materia orgánica es parcialmente soluble en agua.

Reacción del Suelo (pH): los residuos orgánicos afectan el potencial hidrógeno en base a la cantidad de humus en el suelo y el tiempo de descomposición de éste. El humus formado actúa como ácido débil asociado y tiene como principales componentes el ácido húmico y fúlvico, los cuales acidifican en décimas de grado el medio, en base a la escala logarítmica y disminuyen el pH,

después de un tiempo. La acidez total de fracciones aisladas del humus van desde 300 a 1400 meq/100 g.

Acción Buffer: la materia orgánica exhibe poder buffer en rangos ligeramente ácidos, neutros y alcalinos. Ayuda a mantener una reacción pH uniforme en el suelo.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): depende de la cantidad de materia orgánica, ya que el humus es uno de los causantes de los valores de esta variable; sus partículas forman el complejo orgánicomíneral (101 a 470 meq/100 g) en un amplio rango de suelos.

Por ciento de Sodio- Intercambio (PSI): disminuye al agregarle bioactivadores húmicos o materia orgánica, porque la CIC del suelo aumenta y el sodio soluble también se reduce.

El humus mejora la estructura de suelos defloculados por exceso de sodio y remueve a éste de las micelas del suelo, mediante quelatación y donación de electrones en sustitución de los mismos.

Reacción de las Sustancias Húmicas con el Fe en el Suelo

Sequi (1978) afirma que el Fe inorgánico es un compuesto altamente inestable en el suelo y tiende a precipitarse, especialmente en suelos calcáreos. En presencia de materia orgánica, el Fe se hace complejo y además disponible pero insoluble. De hecho los agentes quelatantes de bajo peso molecular como aminoácidos o ácidos orgánicos hidroxilados secretados de las raíces por las plantas, pueden remover el Fe desde complejos orgánicos, introduciendo el nutrimento hasta la solución, donde las raíces de las plantas lo pueden absorber. La adición de sustancias húmicas a la solución de suelo puede hacer fácil el proceso. Se puede considerar de óptima eficiencia si las SH son proveídas al suelo directamente como humatos de Fe.

Reacciones de los Ácidos Húmicos con Manganeso en el Suelo

Norvell (1988) dice que el Mn (II) está asociado en la solución del suelo física y químicamente con diversos grupos de compuestos orgánicos conocidos colectivamente como SH (sustancias húmicas) y la reacción de las sustancias húmicas con cationes metálicos disminuye la concentración de los cationes libres, descarga protones y causa cambios en varias características de las SH incluyendo decrementos en la carga neta negativa, disminuye la capacidad para envolver un metal adicional, alterando las propiedades físicas. Finalmente concluye que las SH

no tienen especial afinidad por el Mn^{+2} y que el complejo extenso es inseguro a menos que compita con los cationes presentes en poca cantidad.

Las Sustancias Húmicas en el Crecimiento de las Plantas

Visser (1985) hizo una distinción entre cuatro grupos de plantas de acuerdo a su reacción con los ácidos húmicos.

Grupo 1: plantas ricas en carbohidratos (papa, remolacha, tomate y zanahoria) las cuales reaccionan fuertemente y bajo condiciones óptimas se puede obtener 50 por ciento mas de las cosechas.

Grupo 2: cereales como la cebada, maíz, avena, arroz y trigo son de reacción buena.

Grupo 3: plantas ricas en proteínas (ejotes, lentejas y chícharos) reaccionan poco.

Grupo 4: plantas que producen aceite (algodón, linaza, girasol) tienen una reacción ligera o incluso tienen efecto negativo.

Fagbenro y Agboola (1993) mencionan que las sustancias húmicas particularmente el AH y el AF desde varias fuentes tuvieron efecto positivo en el

crecimiento de la planta a través de la aceleración de los procesos respiratorios, por incrementar la permeabilidad de las células y por la estimulación hormonal. Evidencias recientes señalan que las respuestas de los compuestos húmicos afectan la producción de materia seca en la planta y nódulos en plantas leguminosas. Ellos también presentan la influencia en la toma de nutrimentos.

David *et al.* (1994) reportaron que las plantas de tomate con adición de 1280 mg/L de AH incrementaron significativamente en retoños la acumulación de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn; en raíces se incrementó la acumulación de N, Ca, Fe, Zn y Cu. Los pesos secos y frescos se incrementaron también, sin embargo, comparando la acumulación de nutrimentos en plantas tratadas con 1280 mg/L de AH y aquellas que dieron un suministro adicional de nutrimentos equivalentes a aquellos suministrados por los AH en el nivel de 1280 mg/L, los retoños acumularon la mayor cantidad de N, P, K, Fe y Cu, mientras que las raíces acumularon solo K y Ca. Por lo tanto, estos incrementos no parecen ser asociados con contenidos de nutrimentos en AH. Un cambio en el pH del suelo de 5.8 a 7 no tuvo efectos sobre la acumulación de nutrimentos o crecimiento de plántulas de tomate. La interacción del pH y suministro de AH no fue significativa.

Chen y Aviad (1985) encontraron que las sustancias húmicas en el crecimiento vegetal con una adecuada nutrición mineral muestran efectos positivos sobre la biomasa y el crecimiento de raíces.

MATERIALES Y METODOS

Localización y Descripción del Area Experimental

Localización

El presente trabajo se llevó a cabo en la región de El Huachichil, municipio de Arteaga, Coahuila en el ejido Emiliano Zapata, localizado a $25^{\circ}16'$ latitud norte y $100^{\circ}46'$ longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 2 040 metros.

El lugar se ubica al sureste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, a 55 km. sobre la carretera 57 tramo Saltillo-Matehuala.

El trabajo se estableció durante el ciclo primavera-verano de 1994, el momento de siembra fue la última semana de mayo para cosecharse la primera semana de septiembre.

Descripción

Clima

Según Koppen modificada por García (1970) para este lugar corresponden: BS1Kx'(é), que significa semiseco templado y extremo.

Precipitación Pluvial

La media anual es de 434.00 mm, el 69 por ciento ocurre de mayo a octubre, y el 31 por ciento restante en los meses de enero a abril y noviembre a diciembre.

Temperatura

La media anual es de 14.3 °C, con temperatura media máxima de 23.6 y media mínima de 4.9. En el Cuadro 3.1. se presentan las características del clima registradas durante el ciclo del cultivo (trabajo de campo).

Suelo

Según la FAO/UNESCO, el suelo es de textura fina, con acumulación de sales solubles, como sulfatos y cloruros de calcio, magnesio, sodio y potasio.

Cuenta con un horizonte superficial de colores claros y un contenido de materia orgánica inferior al uno por ciento.

Agua

Es de buena calidad de pozo profundo, suministrada al cultivo mediante sistema de riego de pivote central. El pH es de 7.8 y la CE de 0.524 dS/m.

Cuadro 3.1. Datos climatológicos registrados durante el trabajo de campo en el ejido Emiliano Zapata, Arteaga, Coahuila, Mayo-Agosto de 1994 (Estación Emiliano Zapata).

<u>Mes</u>	<u>Temperatura (°C)</u>			<u>Lluvia (mm)</u>		<u>Evaporación (mm)</u>	
	Mínima	Media	Máxima	Total	Máxima	Total	Máxima
Mayo	3.0	18.7	32.0	39.0	17.3	78.34	12.54
Junio	7.0	18.7	29.0	93.1	31.7	131.36	11.36
Julio	7.0	18.6	30.0				
Agosto	5.0	15.6	26.0				

Materiales Empleados en el Experimento

Semilla

El material que se usó como semilla fue la variedad premiere (Civa x Provita). Los tubérculos-semilla presentaron buenas condiciones de sanidad brotados o próximos a brotar clasificados como segundas y terceras (de 3.5 a 5.5 cm de diámetro).

Características agronómicas: maduración muy temprana a temprana, de producción muy rápida, tubérculos con ojos superficiales, el rendimiento es bueno y antes de la maduración. Su producción de materia seca es de mediana a bastante alta. Es algo harinosa, de color puro, sabor bastante bueno, apta para la preparación de papas fritas. El follaje es de desarrollo rápido, y altura media con hojas pequeñas, cubriendo bastante bien el terreno. Es sensible a *Phytophthora* de la hoja y medianamente sensible al del tubérculo; bastante resistente al virus de enrollado, al virus Yn y a la sarna verrugosa, inmune al virus A. Resistente al prototipo A del nemátodo dorado.

Características morfológicas: es una planta de tallos bastante numerosos y bastante finos. Extendiéndose pronto, es de color verde o localmente morado pálido. Hojas pequeñas, bastante flexibles, de color verde oscuro: folíolos primarios pequeños y ovales. Con nervios bastante superficiales, floración escasa, inflorescencias pequeñas, pocas flores blancas. Sus tubérculos son de forma oval redondeada; piel amarilla clara y lisa; carne amarilla clara; ojos superficiales. El brote es alargado, mas tarde coniforme hasta en forma de tallos cortos, de color rojo morado pálido, poco peloso; yema terminal grande mas tarde generalmente abierta y verde; yemas laterales de desarrollo tardío.

Sustancias Húmicas

Se emplearon dos fuentes de ácido húmico, la primera aplicada al suelo con nombre comercial provisional humiplex 60 y la segunda aplicada en aspersiones foliares con nombre comercial humitrón. Las concentraciones de ácidos húmicos de los productos son en porcentaje 60 y 12 respectivamente.

Fertilizantes aplicados al suelo

Cuadro 3.2. Fertilizantes aplicados al suelo. Fuente y composición elemental.

Nombre	Presentación	Componente	% En peso
AM-AG Fertilizer	Granulado	Nitrógeno total (N)	9.00
		Acido fosfórico disponible (P ₂ O ₅)	19.00
		Potasio soluble (K ₂ O)	14.00
		Calcio (Ca)	---
		Magnesio (Mg)	1.19
		Azufre (S)	12.00
		Boro (B)	0.05
		Cobre (Cu)	---
		Fierro (Fe)	00.33
		Manganeso (Mn)	00.02
		Zinc (Zn)	00.48
		Super nitrato	Granulado
Fosfato Mono-amónico (MAP)	Granulado	Nitrógeno (N) Ácido fosfórico disponible P ₂ O ₅	12.00 52.00
Sulfato de potasio K ₂ SO ₄	Gránulos	Potasio soluble K ₂ O	50.00
Sulfato de fierro Fe ₂ (SO ₄) ₃	Cristal	Fierro (Fe)	20.00
Sulfato de zinc ZnSO ₄	Polvo	Zinc (Zn)	36.00
Sulfato de manganeso Mn(SO ₄) ₂	Polvo	Manganeso (Mn)	27.00

Fertilizantes Foliares

Cuadro 3.3. Fertilizantes foliares aplicados al cultivo durante el trabajo. Fuente y composición elemental.

Nombre	Presentación	Componente	% En peso
Poliquel fierro	Líquido denso	Fe quelatado	7 - 8
Poliquel zinc	Líquido denso	Zn quelatado	7 - 8
Kelatex manganeso	Polvo	Mn quelatado	7 - 8

Descripción del Experimento

Diseño de Tratamientos

En el experimento se manejaron los microelementos Fe, Zn y Mn combinados con el ácido húmico humiplex 60, aplicados al suelo y en aspersiones foliares, utilizando dosis bajas, medias y altas de las cuatro variantes, de acuerdo a nueve tratamientos.

El diseño de estos tratamientos se hizo partiendo de una base equivalente a los valores medios de cada una de las cuatro variantes (Fe, Zn, Mn y Humiplex 60) y correspondió al primer tratamiento, el cual quedó como sigue: Fe = 7.0 kg/ha, Zn = 10.0 kg/ha, Mn = 5.0 kg/ha y Humiplex 60 = 80 kg/ha. Posteriormente se le asignó un valor bajo y uno alto a la cantidad de Fe del tratamiento base y correspondieron al tratamiento dos y tres respectivamente. De igual manera para el

Zn, los tratamientos cuatro y cinco fueron los valores bajo y alto del Zn en el tratamiento base. Los seis y siete resultaron también de un valor bajo y uno alto de Mn del base. Por último, los tratamientos ocho y nueve se generaron respectivamente con una cantidad nula y una alta del tratamiento uno o base.

Lo anterior lo podemos resumir en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.4. Composición de los nueve tratamientos aplicados.

Tratamiento	*Fe	*Zn	*Mn	*Humiplex 60
No. clave				
1 F2Z2M2H2	7.0	10.0	5.0	80.0
2 F1Z2M2H2	3.5	10.0	5.0	80.0
3 F3Z2M2H2	10.5	10.0	5.0	80.0
4 F2Z1M2H2	7.0	5.0	5.0	80.0
5 F2Z3M2H2	7.0	15.0	5.0	80.0
6 F2Z2M1H2	7.0	10.0	2.5	80.0
7 F2Z2M3H2	7.0	10.0	7.5	80.0
8 F2Z2M2H1	7.0	10.0	5.0	00.0
9 F2Z2M2H3	7.0	10.0	5.0	160.0

* cantidades en kg/ha

Nota: Índices 1= nivel bajo, 2= nivel medio 3= nivel alto

Parcela Experimental

Para el manejo de los tratamientos se trazaron parcelas experimentales de 5.47 m por 6 m equivalentes a seis surcos de seis metros de largo en las cuales los dos surcos centrales fueron los que se utilizaron para la mayoría de las mediciones y/o muestreos.

Diseño Experimental

Los tratamientos se distribuyeron en el campo en el diseño experimental bloques al azar usando cuatro repeticiones para el análisis estadístico y tener un total de 36 parcelas experimentales.

Aplicación de Tratamientos

La aplicación de los tratamientos tuvo tres partes:

En la primera se consideró la aplicación del fertilizante AM-AG fertilizer, la cual se hizo al momento de la siembra utilizando 1 050 kg/ha, para poder manejar las dosis de los tratamientos, ya que la cantidad a aplicar de este fertilizante era 2100 kg/ha (manejada por el agricultor).

La segunda parte consistió en el complemento de los nutrimentos que la dosis de 2 100 kg/ha del fertilizante AM-AG fertilizer aportaría al suelo excepto para Fe, Zn y Mn, mediante la utilización de las siguientes fuentes: supernitrate (31.5-0-0), fosfato monoamónico (11-52-0), sulfato de potasio (0-0-50), sulfato de Fe, sulfato de Zn y sulfato de manganeso para N, P, K, Fe, Zn y Mn respectivamente. Lo anterior se efectuó en forma manual depositando los fertilizantes de elementos menores mezclados con el ácido húmico (humiplex 60) de acuerdo a los tratamientos en una banda lateral del bordo donde se depositó la

semilla y a chorrillo; mientras que los elementos mayores se colocaron por la otra banda y a chorrillo también. Las dos aplicaciones anteriores se hicieron el 10 y 29 de junio de 1994 respectivamente.

En la tercera parte se aplicaron los fertilizantes foliares como sigue: a las dosis bajas de los tratamientos no se les hizo ninguna aplicación foliar, el 17 de julio del año en curso se asperjaron las parcelas con los tratamientos de las dosis medias y altas y el día 23 del mismo mes sólo a las dosis altas. Los productos foliares empleados fueron quelatos de Fe, Zn y Mn; y como fuente del ácido húmico se usó el humitrón, a éstos se les adicionó el adherente bionex.

Croquis del Experimento

<u>BLOQUES</u>	<u>DISTRIBUCION DE TRATAMIENTOS</u>
IV	8 2 5 3 7 6 4 9 1 N
III	7 1 9 6 2 4 3 8 5
II	9 4 2 7 8 5 1 6 3
I	3 6 8 1 9 7 4 2 5 S

Figura 3.1. Distribución de los tratamientos en el sitio experimental.

Manejo del Cultivo

Preparación del Terreno

La preparación consistió en un subsoleo, barbecho, rastra cruzada, empareje y bordeo, los dos primeros trabajos se hicieron durante los meses de enero y febrero utilizando un subsuelo de tres cinceles y un arado de discos respectivamente; las tres últimas se llevaron a cabo en el mes de mayo y se emplearon rastra de tiro, niveladora line-plane y bordeadora de discos.

Siembra

Se sembró el 29 de mayo mediante una sembradora mecánica, que iba conectada a diferentes puntos generadores de energía del tractor. Además de depositar la semilla saneada en la cama de siembra, esta máquina realizaba otros trabajos simultáneamente como fertilizar, y aplicar insecticidas, fungicidas y nematocidas. La densidad de siembra que se manejó fue la de 3 ton/ha a una profundidad de siembra de 8 cm, una distancia entre plantas de 20 cm y una distancia entre hileras de 91 cm.

Aporques

Los aporques comenzaron cuando los tallos alcanzaron 10 cm de altura, repitiéndose según era necesario hasta que el tamaño de las plantas lo permitían.

Riegos

Los riegos se aplicaron con un sistema de riego de pivote central, el 20 por ciento se suministró durante el establecimiento de la planta y su emergencia y el 80 por ciento durante el resto del ciclo. En forma general para el 80 por ciento se dio un riego por semana con una lámina de 10 cm.

Fertilización

Esta fue al momento de la siembra y en la aplicación de los tratamientos, se respetó el aporte de nutrimentos con la dosis de 2100 kg/ha (manejada por los agricultores) del fertilizante AM-AG fertilizer excepto para Fe, Zn y Mn.

Control de Plagas

La principal plaga que atacó al cultivo fue el pulgón o áfido (*Mizus persicae*) registrándose los daños durante el desarrollo de la planta o etapa

intermedia. Los insecticidas aplicados para su control fueron el metamidofos, vidate y lanate.

Control de Enfermedades

Se presentó el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y tizón temprano (*Alternaria solani*), su control fue con manzate y ricoil para el primero. Para el segundo se uso captán y dyrene. Las aplicaciones fueron cada semana con avión.

Desvare

Se realizó a los 110 días después de la siembra previa aplicación de desecantes al follaje. Posteriormente se dejaron 21 días los tubérculos dentro del suelo para su cosecha.

Variables Evaluadas al Suelo

Análisis Granulométrico y Textura

Este análisis se realizó por el método del hidrómetro de Bouyocus a una muestra compuesta inicial tomada del área experimental y a las muestras promedio tomadas de cada una de las parcelas experimentales después de cosechar.

Densidad de Sólidos (Ds)

Esta variable se determinó por el método del picnómetro para cada una de las muestras simples tomadas en cada parcela experimental al final del trabajo.

Densidad Aparente (Da)

El método que se utilizó para la determinación de la Da fue el de la probeta aplicado igual que la anterior a cada una de las muestras tomadas de las parcelas experimentales al término del experimento. Cabe mencionar que para fines de algunas estimaciones también a la muestra inicial se le determinó la Da.

Espacio Poroso (E)

El E se estimó utilizando los resultados de las dos anteriores determinaciones en la siguiente relación: $E = 1 - Da/Ds$

Capacidad de Campo (CC)

Mediante el uso de las ollas de presión se estimó el valor de la CC para cada muestra simple de suelo, utilizando 0.3 bar de tensión.

Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Los valores de PMP para las mismas muestras también se estimaron con el uso de las ollas de presión, a 15 bar de tensión.

Las siguientes evaluaciones químicas se hicieron a una muestra inicial del sitio experimental y a cada muestra simples al término del trabajo.

Contenido de Materia Orgánica (MO)

El contenido de materia orgánica se realizó mediante el método de Walkley-Black, que es una modificación del método de Schollenberg, es rápido y se basa en la oxidación de la materia orgánica mediante un agente oxidante añadido en exceso al suelo con la posterior valoración colorimétrica del exceso del agente oxidante.

Actividad de los Iones Hidrógeno (pH)

El pH se midió con un pH-metro con electrodo de vidrio sobre el filtrado de una solución previamente preparada; su operación se basa en la evaluación de la diferencia de potencial que se establece entre un electrodo de medida (del cual forma parte la solución cuyo pH se quiere determinar) y un electrodo de referencia.

Carbonatos Totales (CO₃)

Se determinó mediante el método de titulación ácido-base.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La CIC fue una estimación a partir de los valores del porcentaje de arcilla y materia orgánica, mediante la siguiente ecuación: **CIC = (%arcilla X 0.50) + (%MO X 2).**

Porciento de Saturación de Bases (PSB)

Para esta determinación se hizo una relación entre el agua que se utilizó para llevar al punto de saturación una cantidad conocida de la muestra y esta cantidad; la relación se puede expresar de la siguiente manera: **%SATURACION = (ml gastados de agua/peso de la muestra) X 100**

Conductividad Eléctrica (CE)

La CE se obtuvo mediante la medición de la corriente eléctrica generada por las sales contenidas en un extracto generado a partir de una muestra saturada.

El instrumento utilizado para la mencionada medición fue un conductivímetro y la forma de expresión de los resultados es en dS/m.

Nitrógeno Total (NT)

El NT fue una estimación a partir de los resultados del contenido de materia orgánica, la cual se analizó con el método de Walkley-Black.

Fósforo (P_2O_5)

Para conocer la cantidad de fósforo en el suelo se aplicó el método de Olsen, el cual utiliza un extractante que es una solución tamponada de $NaHCO_3$ 0.5 M que fue desarrollada para suelos calcáreos. La base de este método se encuentra en el hecho que los fosfatos de calcio contenidos en los suelos calcáreos, alcalinos y neutros, incrementan su solubilidad en presencia de $NaHCO_3$, debido a que disminuye la actividad del ion Ca^{++} por reacción de éste con el ion CO_3 , el cual se forma cuando se tampona la solución de $NaHCO_3$ a 8. Como producto de la reacción se forma $CaCO_3$, sal de baja solubilidad, lo que trae como consecuencia la solubilización de sales que contienen fósforo.

Potasio Total (K₂O)

El método del cobaltinitrito de sodio fue el empleado al determinar el potasio total en el suelo.

Variables Evaluadas a Planta

Primera Medición de Altura

Esta primera medición se llevó a cabo a los 30 días después de la siembra, en cada parcela experimental se midió el tallo aéreo mas grande de tres plantas promedio (chica, mediana y grande) con un flexómetro desde la base hasta el ápice.

Segunda Medición de Altura

La segunda medición de altura fue dos semanas después de la primera medición (14 de julio de 1994) utilizando el mismo método.

Número de Tallos por Metro

Esta evaluación se realizó junto con la primera medición de altura de planta y consistió en seleccionar un metro lineal en cada parcela donde se

encontraban las plantas promedio de ésta, posteriormente contar el número de tallos encontrados en ese metro.

Las siguientes siete evaluaciones fueron hechas a una planta representativa de cada parcela experimental, tomada el 14 de agosto del mismo año; para esto, la planta se llevó al laboratorio donde se preparó adecuadamente para su evaluación.

Número de Tallos por Planta

Se hizo mediante un simple conteo de todo los tallos de cada planta.

Diámetro de Tallos

Para medir el diámetro de tallos, se lavaron éstos y se seleccionaron tres de cada planta, el más grueso, el más delgado y un mediano, a los cuales, con un vernier se les midió su diámetro en la parte media.

Número de Tubérculos

Se contaron todos los tubérculos de cada planta sin importar el tamaño (totales).

Diámetro de Tubérculos

También con un vernier, se midió el diámetro polar y el ecuatorial de tres tubérculos de cada planta (grande, chico y mediano), después de lavar con agua corriente.

Peso Fresco de Tubérculos

Para esta medición se lavaron todos los tubérculos de cada planta con agua corriente, se secaron con tela absorbente y se dejaron un tiempo al aire hasta tener un peso constante. Hecho lo anterior, se pesaron en una balanza común.

Peso Seco de Tallos Aéreos y Subterráneos, Hojas y Tubérculos

Para estas mediciones, primero se lavó perfectamente cada parte de la planta, en seguida se dejaron al aire sobre papel absorbente para eliminar el agua adherida, después se colocaron por separado en bolsas de papel perforada que fueron introducidas a un horno de aire forzado, donde permanecieron por 48 horas o hasta que adquirieron un peso constante a una temperatura de 75 °C. Por último se pesaron en un balanza eléctrica, obteniendo el peso neto.

Cabe aclarar que en el caso de los tubérculos, sólo se manejó una muestra compuesta debido a la alta cantidad de éstos, obteniéndose el contenido

le humedad promedio dividiendo el peso seco entre el peso fresco. El peso seco de los tubérculos por planta se estimó multiplicando el contenido de humedad promedio en g/g por el peso fresco de tubérculos por planta.

Materia Seca Total (biomasa)

Con la suma de los pesos secos de cada parte de la planta se obtuvo el valor de la biomasa.

Análisis Foliar

Para conocer el contenido en las hojas de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn se realizó un análisis foliar, para lo cual fue necesario obtener muestras de hojas de cada parcela experimental. El muestreo consistió en la recolección de 12 hojas por parcela (dos por surco) de dos plantas promedio de cada surco. Las hojas muestreadas fueron las más recientemente desarrolladas y la etapa fenológica de la planta fue antes de la floración.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características Físicas Evaluadas al Suelo

La evaluación de las características físicas se hizo por parcela experimental excepto para el análisis granulométrico y textura, al final del trabajo, como ya se mencionó en el capítulo anterior. El Cuadro 4.1 muestra los resultados promedio de cada variable y en el apéndice A se presentan los resultados por parcela. Su análisis estadístico (y del resto de las variables) se muestra también en el apéndice D.

Al respecto podemos mencionar lo siguiente:

Análisis Granulométrico y Textura

Los valores de contenido de arena (A), limo (L) y arcilla (R), para cada tratamiento, se puede decir que fueron homogéneos, como era de esperarse, ya que ésta es una característica difícil de modificar en un período corto de tiempo, según menciona la literatura en general. Por lo anterior no se detectó variación en la clase textural de las muestras analizadas.

Cuadro 4.1. Resultados promedio del análisis físico del suelo realizado al final del trabajo.

<u>tratamiento</u> o. CLAVES	A %	L %	R %	Da g/cm ³	Ds g/cm ³	E %	CC %	PMP %
F2Z2M2H2	15.50	41.25	43.25	1.10	2.34	52.87	36.74	19.96
F1Z2M2H2	12.75	39.25	48.00	1.13	2.36	52.18	41.79	22.76
F3Z2M2H2	14.25	39.75	46.00	1.08	2.36	53.85	40.72	21.84
F2Z1M2H2	11.50	41.00	47.50	1.11	2.47	54.95	40.72	22.16
F2Z3M2H2	11.75	42.75	45.50	1.08	2.31	52.99	35.59	19.37
F2Z2M1H2	11.00	39.75	49.25	1.12	2.33	51.78	42.88	22.29
F2Z2M3H2	11.75	45.75	42.50	1.10	2.36	51.30	40.35	21.93
F2Z2M2H1	12.50	9.50	48.00	1.08	2.25	51.89	40.01	21.74
F2Z2M2H3	12.75	42.25	42.00	1.11	2.34	52.62	42.94	23.33

Densidad Aparente (Da)

La Da no mostró diferencias importantes, su valor se conservó alrededor de 1.10 g/cm^3 en todos los tratamientos, y estadísticamente no se presentaron diferencias significativas, por lo que no fue necesario hacer pruebas de medias.

Dimel *et al.* en 1991 afirmaron que la adición de sustancias húmicas al suelo contribuye a la agregación de las partículas y con esto a la disminución de la Da. Es probable que los valores homogéneos se debieron al efecto destructivo de los agregados del suelo por el excesivo paso y maniobras de la maquinaria agrícola durante la cosecha.

Densidad de Sólidos (Ds)

El valor de esta característica se mantuvo constante, de manera semejante a la anterior, los resultados para cada tratamiento fluctuaron alrededor de 2.30 g/cm^3 sin diferencia estadística significativa. Narro (1994), menciona que el valor de ésta puede disminuir, siempre y cuando se presente una agregación considerable de las partículas en el suelo, sin embargo, no hubo tal efecto, ya que las dosis utilizadas de sustancias húmicas representan cerca de 50 ppm de la capa arable del suelo.

Espacio Poroso (E)

Los resultados del E son consecuencia de las dos propiedades anteriores por lo que es de esperarse valores constantes también para los tratamientos sin variación significativa, por las razones expuestas.

Constantes de Humedad (CC y PMP)

Los contenidos de humedad en el suelo a CC y PMP, mostraron respuesta positiva a la aplicación de los AH. El tratamiento que presentó una mayor capacidad para retener humedad fue el F2Z2M2H3 en el cual se aplicó el nivel alto (160 kg/ha) de AH y los niveles medios de Fe, Zn y Mn. El incremento que se registró a CC con respecto al tratamiento F2Z2M2H1 (sin AH) fue de 2.93 por

ciento y a PMP de 1.59 por ciento. Sin embargo no hubo diferencia significativa entre tratamientos.

De acuerdo con Ghaus (1984) los AH tienen gran capacidad para retener y absorber agua en magnitud de 5 a 10 veces más que los constituyentes orgánicos del suelo; es importante considerar esto ya que dicha variable tiene gran importancia agrícola, el cultivo de la papa requiere suelos húmedos para el buen desarrollo del tubérculo.

Análisis Químico de Suelo y Planta

Análisis de la Muestra Inicial de Suelo

Antes de hacer cualquier alteración al suelo del sitio experimental se le muestreó para efectuar un análisis químico cuyos resultados se presentan en el Cuadro 4.2, donde la concentración de elementos se muestra en ppm y kg/ha. El valor de la Da inicial es 1.08 g/cm^3 y la profundidad de 30 cm.

Cuadro 4.2. Resultados del análisis químico de la muestra inicial de suelo

Determinación	Unidad	Resultado	Clasificación
pH 1:1	A	7.59	Ligeramente alcalino
Conductividad eléctrica	mS/cm	1053.00	No salino
Materia orgánica	%	4.04	Rico
Carbonatos totales (CO ₃)	%	25.97	Alto
Nitrógeno (N-NO ₃)	ppm	27.90	Medio
	kg/ha	90.40	

Cuadro 4.2.....continuación

Fósforo (P)	ppm	8.70	Bajo
	kg/ha	28.19	
Potasio (K)	ppm	660.00	Alto
	kg/ha	2138.00	
Determinaciones en el extracto de la pasta de suelo a saturación:			
Calcio (Ca)	meq/l	8.13	
Magnesio (Mg)	meq/l	1.97	
Sodio (Na)	meq/l	0.52	
RAS	(meq/l) ^{1/2}	0.23	
PSI	%	0	
Saturación	%	51.61	
Microelementos extraídos con DTPA:			
Fierro (Fe)	ppm	1.68	Bajo
	kg/ha	5.44	
Zinc (Zn)	ppm	1.38	Alto
	kg/ha	4.47	
Manganeso (Mn)	ppm	0.72	Bajo
	kg/ha	2.33	

Nótese que el pH y CO₃ están en niveles que limitan la disponibilidad de la mayoría de los nutrimentos del suelo especialmente Fe, Zn y Mn. Obsérvese también las concentraciones de fósforo y potasio las cuales tendrán comportamientos importantes como se verá en secciones posteriores.

Adición de Nutrimentos Mediante Fertilizantes Inorgánicos

El suministro total de elementos minerales al suelo de toda el área experimental después del análisis inicial fue el siguiente:

Cuadro 4.3. Cantidad de nutrimentos suministrados mediante la fertilización de fondo.

Elemento	Cantidad (kg/ha)
Nitrógeno Total (N)	189.00
Ácido Fosfórico Disponible (P ₂ O ₅)	399.00
Potasio Soluble (K ₂ O)	294.00
Magnesio (Mg)	24.99
Azufre (S)	252.00
Boro (B)	1.05

Para el Fe, Zn y Mn las cantidades se manejaron de acuerdo a los nueve tratamientos de este trabajo (ver capítulo anterior).

Análisis Foliar y Extracción de Nutrimentos desde el Suelo

Los datos del Cuadro 4.4 son los resultados del análisis foliar efectuado a nueve muestras compuestas equivalentes a los tratamientos. De acuerdo a Jones *et al.* (1991) para la etapa del cultivo en que se realizó este análisis (antes de la floración), la concentración de N, P, Ca y Zn en todos los tratamientos es la suficiente, sin embargo, para el K y Mg en los mismos es baja; en el caso de Fe y Mn su concentración es alta también en todos, y para el Cu es suficiente en los primeros cinco tratamientos y alta en los cuatro restantes.

Cuadro 4.4. Resultados del análisis foliar de nueve muestras compuestas realizado antes de la floración del cultivo.

<u>Tratamiento</u>	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>	<u>Fe</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Mn</u>
<u>No. CLAVE</u>	----- (%) -----					----- ppm -----			
1 F2Z2M2H2	5.98	0.36	4.47	1.89	0.52	163	20	55	350
2 F1Z2M2H2	5.98	0.41	4.19	1.59	0.52	172	16	54	355
3 F3Z2M2H2	5.88	0.38	4.40	1.72	0.52	162	18	53	375
4 F2Z1M2H2	5.70	0.37	4.44	1.64	0.50	164	19	48	330
5 F2Z3M2H2	6.06	0.39	4.39	1.63	0.49	171	20	53	390
6 F2Z2M1H2	6.01	0.35	4.28	1.80	0.50	167	23	52	385
7 F2Z2M3H2	5.73	0.38	4.47	1.72	0.49	169	24	61	420
8 F2Z2M2H1	6.06	0.42	4.23	1.67	0.53	166	26	56	380
9 F2Z2M2H3	6.09	0.39	4.00	1.48	0.50	163	27	50	325

Los altos niveles de Fe se pueden atribuir a varias razones:

1. El ácido húmico aplicado en mezcla con la fuente de Fe al suelo actuó como agente quelatante y removi6 al Fe hasta la soluci6n donde fue absorbido por las ra6ces (Sequi, 1978).
2. Con suficiente fierro en las plantas, las ra6ces secretaron sustancias compuestas de Fe que ayudaron a acidificar la riz6sfera y de esta manera se mejor6 la disponibilidad y extracci6n (Andr6, 1988).
3. Los niveles P no afectaron la solubilidad del Fe en la planta y el nivel adecuado de N no provoc6 el efecto de diluci6n en la misma (Jones *et al.*, 1991).
4. Las aplicaciones foliares de 6cido h6mico y este elemento acentuaron su concentraci6n dentro de la planta.

En el caso del Zn los niveles de suficiencia que se registraron tienden al límite inferior del rango (30 ppm), esto nos indica que su concentración se vio afectada probablemente por los altos contenidos de Fe en los tejidos más que en la solución del suelo. Para el Zn aún no hay evidencias definitivas que el P induce la deficiencia por transporte inhibido desde la raíz hasta los retoños, sin embargo el Ca, Mg y K si inhiben la absorción desde la solución (Floneragan y Webb, 1993). Se puede agregar que si el ácido húmico hizo disponible el elemento en la solución del suelo, en la planta éste tuvo problemas con los iones mencionados.

Sanders en 1993, clasifica a la papa como de respuesta media al Zn; lo cual puede ser otra razón para que no esté en cantidades más grandes en las hojas.

El Mn es el otro elemento que se estudió en este trabajo, sus concentraciones de casi 100 ppm por encima del límite adecuado en hojas y considerando que las sustancias húmicas no tienen afinidad por el Mn^{+2} , a menos que en el suelo haya muy poca cantidad de iones metálicos, nos lleva a decir que dichas concentraciones se debieron a que gran parte del Mn presente en el suelo se redujo a formas disponibles para la planta (Mn^{+2}), gracias a que se presentaron condiciones anaeróbicas durante el ciclo del cultivo (Norvell, 1988); probablemente por el alto contenido de humedad y mal drenaje del suelo.

A partir de las concentraciones del Cuadro 4.4 se presenta la extracción por el cultivo desde el suelo en una hectárea en los Cuadros 4.5 y 4.6 de la siguiente página, tomando como base la materia seca de hojas y la biomasa. Cabe aclarar que para las interpretaciones de otros resultados se consideró sólo la primera, por ser la parte que se analizó directamente en laboratorio.

Cuadro 4.5. Extracción de nutrimentos desde el suelo por el cultivo en base a peso seco de hojas (kg/ha).

<u>Tratamiento</u> No. CLAVE	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
1 F2Z2M2H2	136.52	8.22	105.05	43.15	11.87	0.37	0.05	0.13	0.80
2 F1Z2M2H2	131.50	9.02	92.14	34.96	11.44	0.38	0.04	0.12	0.78
3 F3Z2M2H2	139.27	9.00	104.22	40.74	12.32	0.38	0.04	0.13	0.89
4 F2Z1M2H2	140.48	9.12	109.42	40.42	12.32	0.40	0.05	0.12	0.81
5 F2Z3M2H2	134.41	8.65	97.37	36.15	10.87	0.38	0.04	0.12	0.86
6 F2Z2M1H2	140.20	8.16	99.84	41.99	11.66	0.39	0.05	0.12	0.90
7 F2Z2M3H2	132.11	8.76	103.06	39.66	11.30	0.39	0.06	0.14	0.97
8 F2Z2M2H1	146.84	10.18	102.50	40.47	12.84	0.40	0.06	0.14	0.92
9 F2Z2M2H3	184.68	11.89	121.96	45.12	15.24	0.50	0.08	0.15	0.99

Cuadro 4.6. Extracción de nutrimentos desde el suelo por el cultivo en base a biomasa(kg/ha).

<u>Tratamiento</u> No. CLAVE	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
1 F2Z2M2H2	592.22	35.83	444.92	188.12	51.76	1.62	0.20	0.55	3.48
2 F1Z2M2H2	649.22	44.51	454.89	172.62	56.45	1.87	0.17	0.59	3.85
3 F3Z2M2H2	694.85	44.91	519.96	203.26	61.45	1.91	0.21	0.63	4.43
4 F2Z1M2H2	589.83	38.29	459.44	169.70	51.74	1.70	0.20	0.50	3.41
5 F2Z3M2H2	580.17	37.34	420.29	156.05	46.91	1.64	0.19	0.51	3.73
6 F2Z2M1H2	779.19	45.38	554.90	233.37	64.82	2.17	0.30	0.67	4.99
7 F2Z2M3H2	640.33	42.47	499.53	192.21	54.76	1.89	0.27	0.68	4.69
8 F2Z2M2H1	570.61	39.55	398.30	157.25	49.90	1.56	0.24	0.53	3.58
9 F2Z2M2H3	851.98	54.56	559.60	207.05	69.95	2.28	0.38	0.70	4.55

Análisis Químico Final de Suelo

Este análisis muestra las características químicas del suelo al término del ciclo (Cuadro 4.7). En el apéndice B se presentan los datos por parcela experimental.

Cuadro 4.7. Resultados promedio del análisis químico realizado al suelo al final del ciclo.

<u>Tratamiento</u>	MO	pH	CO ₃	CIC	PSB	CE	NT	P ₂ O ₅	KT
<u>No. CLAVE</u>	(%)		(%)	meq/100g	(%)	dS/m	— kg/ha —		
1 F2Z2N2H2	3.43	8.03	25.08	28.49	50.94	1.56	82.38	99.66	981.88
2 F1Z2M2H2	3.73	8.03	23.42	31.47	51.56	1.55	89.58	116.56	923.07
3 F3Z2M2H2	3.83	7.99	25.76	30.66	52.00	1.57	91.86	116.14	856.06
4 F2Z1M2H2	3.66	7.92	23.48	31.06	51.34	1.56	87.78	101.35	994.90
5 F2Z3M2H2	4.11	7.93	25.65	30.97	51.56	1.58	98.65	112.97	905.23
6 F2Z2M1H2	3.40	7.98	24.73	31.43	51.25	1.57	81.54	119.94	1000.68
7 F2Z2M3H2	3.72	8.05	23.93	28.68	51.00	1.56	89.16	109.80	912.46
8 F2Z2M2H1	3.57	7.99	23.65	31.13	51.75	1.56	85.56	118.04	976.10
9 F2Z2M2H3	3.55	7.94	24.74	28.09	51.00	1.59	85.14	110.22	937.05

La concentración promedio de elementos menores al final del ciclo por tratamiento se puede apreciar en el Cuadro 4.8, en el cual los resultados están dados en ppm y kg/ha.

Cuadro 4.8. Concentración de elementos menores por tratamiento en el suelo al final del ciclo.

<u>Tratamiento</u>	Fe	Fe	Zn	Zn	Mn	Mn	Cu	Cu
<u>No. CLAVE</u>	ppm	kg/ha	ppm	kg/ha	ppm	kg/ha	ppm	kg/ha
1 F2Z2M2H2	0.72 B	2.33	1.72 M	5.57	0.76 M	2.46	2.30 A	7.45
2 F1Z2M2H2	0.66 B	2.14	1.44 M	4.67	0.80 M	2.59	2.76 A	8.94
3 F3Z2M2H2	0.76 B	2.46	1.66 M	5.38	0.72 M	2.33	2.80 A	9.07
4 F2Z1M2H2	0.78 B	2.53	1.94 M	6.29	0.82 M	2.66	2.30 A	7.45
5 F2Z3M2H2	0.62 B	2.01	0.92 M	2.98	0.78 M	2.53	2.44 A	7.91
6 F2Z2M1H2	0.60 B	1.94	0.92 M	2.98	0.82 M	2.66	2.50 A	8.10
7 F2Z2M3H2	0.54 B	1.75	0.90 M	2.92	0.80 M	2.59	3.40 A	11.02
8 F2Z2M2H1	0.56 B	1.81	1.00 M	3.24	0.84 M	2.72	2.56 A	8.29
9 F2Z2M2H3	0.60 B	1.94	1.00 M	3.24	0.80 M	2.59	2.78 A	9.01

A continuación se discute cada una de estas características de acuerdo a comparaciones con el análisis inicial, fertilización, aplicación de tratamientos y extracción de elementos.

Materia orgánica: el tratamiento cinco (F2Z3M2H2) se incrementó 0.07 por ciento comparado con el contenido de materia orgánica inicial (Cuadro 4.2), alcanzando el nivel de extremadamente rico. Éste representa el nivel alto (15 kg/ha) de Zn y niveles medios de Fe (7 kg/ha), Mn (5 kg/ha) y AH (80 kg/ha), el resto de los tratamientos tomaron valores ligeramente menores al inicial, manteniéndose en un nivel rico. Según Sanders (1993) el Zn aumenta el aprovechamiento de N y con ello la actividad microbiana y crecimiento de raíces.

Reacción del suelo (pH): hubo un ligero aumento en todos los tratamientos de acuerdo al pH inicial (7.59 alcalinidad media) pero se conservó su nivel de alcalinidad media, probablemente debido al alto contenido de materia orgánica

existente desde el inicio. Narro (1994) afirma que la materia orgánica exhibe poder buffer en rangos ligeramente ácidos, neutros y alcalinos, que ayuda a mantener una reacción pH uniforme en el suelo y éste no cambia en períodos cortos de tiempo.

Carbonatos totales (CO_3): el porcentaje que se registró en la muestra inicial fue alto (A), ya que, como material original y en la concentración registrada no se presentan cambios apreciables, como consecuencia de los valores estables de materia orgánica.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): esta característica mostró efectos importantes al final (Cuadro 4.7) en los tratamientos F1Z2M2H2, F2Z1M2H2 y F2Z2M1H2 que son niveles bajos de Fe, Zn y Mn respectivamente (3.5, 5.0 y 2.5 kg/ha). Aquí se presentaron los valores mas altos de CIC. En los niveles altos de Fe, Zn y Mn que son los tratamientos F3Z2M2H2, F2Z3M2H2 y F2Z2M3H2 respectivamente (10.5, 15 y 7.5 kg/ha) se presenta disminución de la CIC, confirmando lo expuesto. Los tratamientos F2Z2M2H1 y F2Z2M2H3 (niveles bajo y alto respectivamente) de ácidos húmicos (0 y 160 kg/ha) mostraron comportamientos similares, el nivel medio (tratamiento F2Z2M2H2) o, 7.0, 10.0, 5.0 y 80 kg/ha de Fe, Zn y Mn respectivamente fue el segundo más bajo de los nueve.

De acuerdo a Norvell (1988), las sustancias húmicas en reacción con cationes metálicos producen descarga de protones y causa cambios en varias

características de éstas sustancias incluso la disminución de la carga neta negativa, lo que provoca una disminución de la capacidad del humus para atraer cationes libres (CIC), a menos que estén en poca cantidad.

Saturación de bases (PSB): no hubo cambios significativos al final con respecto al análisis inicial.

Conductividad eléctrica (CE): esta determinación indica que se trabajó en un suelo no salino al inicio y que las modificaciones hechas durante el período dejaron el suelo con un incremento de sales no significativo. En general se inició con 1.05 dS/m y se terminó con 1.50 dS/m, un suelo se considera no salino hasta 2.5. No hubo efectos significativos en los tratamientos.

Nitrógeno: los más altos valores de nitrógeno total al final del trabajo corresponden a los tratamientos F3Z2M2H2 (3) y F2Z3M2H2 (5) que representan los niveles altos de Fe y Zn respectivamente (10.5 y 15 kg/ha). Por otro lado, el tratamiento F2Z2M2H3 con el nivel alto de AH (160 kg/ha) fue uno de los más bajos al término del ciclo. Para los casos anteriores no se presentó diferencia significativa entre tratamientos. Sanders en 1993, encontró que en el suelo, el Zn ayuda al aprovechamiento del N por el cultivo, probablemente esto haya sido el motivo por el cual el tratamiento F2Z3M2H2 mostró el valor más alto de NT y materia orgánica como ya se dijo.

En el caso del Fe, el efecto es mas en la planta, porque lo requiere para la reducción de sulfatos y nitratos, asimilación de N y producción de NADP (Jones *et al.*, 1991). Los valores de suficiencia de N en el tejidos de hojas son un indicador de lo descrito; con lo anterior, es posible mencionar que el Fe puede interaccionar positivamente con el N en el suelo y por eso se presentó el valor alto de NT en él.

En relación a los AH, Fegbenro y Agboola en 1993 presentaron que el efecto es en la toma de nutrimentos, razón por la cual se observó poca cantidad de N en el suelo donde se aplicó el nivel alto de AH, que refleja una alta cantidad del elemento extraída por la planta, como lo indica la Figura 4.1.

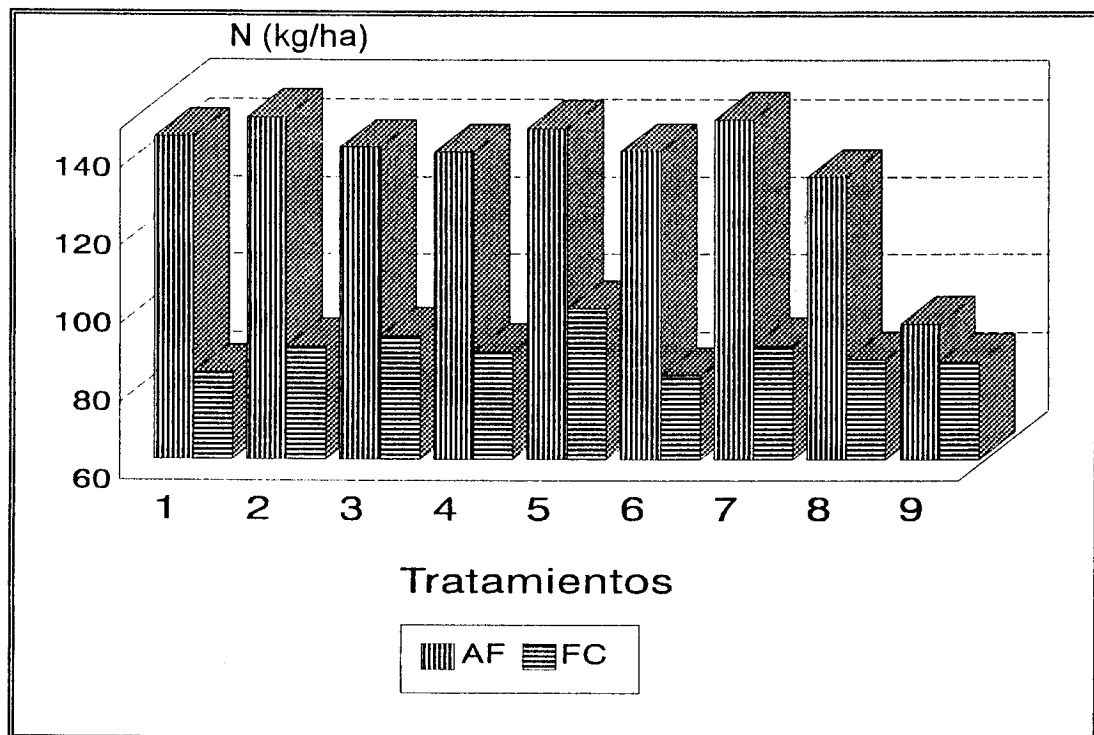


Figura 4.1. Contenido de Nitrógeno en el suelo antes de la floración y al final del ciclo del cultivo de papa en el ejido Emiliano Zapata, primavera-verano de 1994.

Fósforo: en este elemento el efecto más notable se vio también en el tratamiento F2Z2M2H3 (Figura 4.2) o nivel alto de AH, donde se presenta un valor bajo en el contenido final del suelo y el mas alto valor en el P extraído, como sucedió con el N. Esto confirma lo presentado por Fegbenro y Agboola (1993), donde dicen que los AH ayudan a la toma de nutrimentos a la planta.

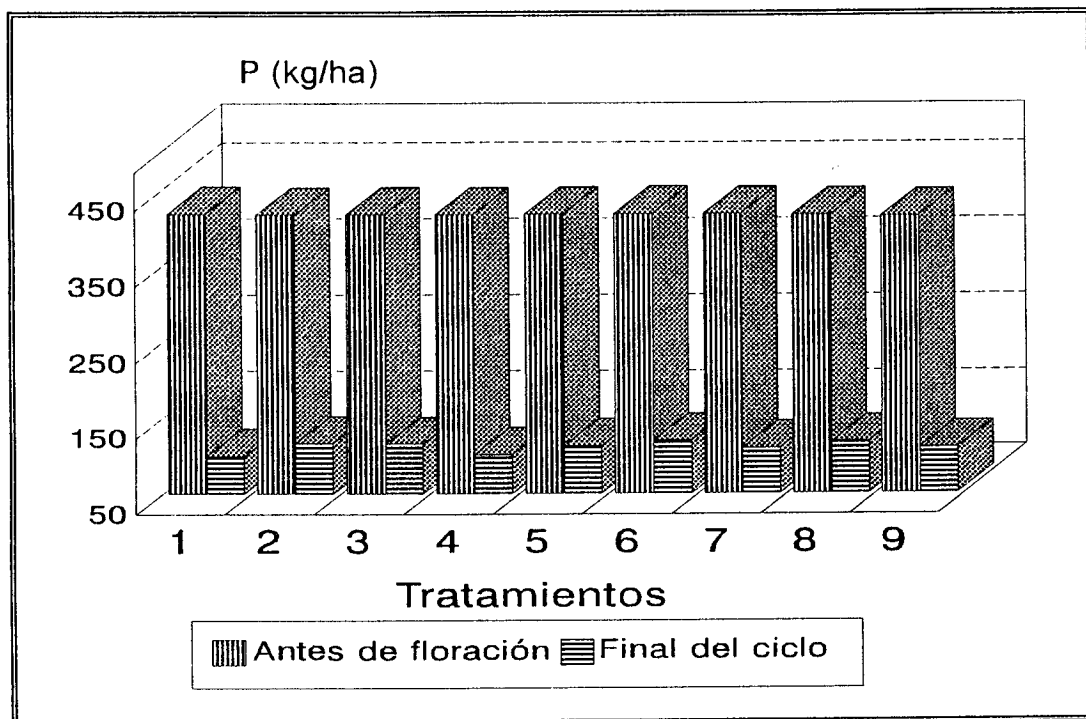


Figura 4.2. Fósforo en el suelo en dos etapas del cultivo.

Potasio: para el K se presentó lo mismo que el P, sin embargo, todos los resultados indican que tiene problemas para ser extraído por la planta. Es decir, existió gran cantidad de potasio en el suelo (incluyendo el adicionado), sin

embargo la planta mostró niveles bajos en las hojas en todos los tratamientos además, la cantidad final en el suelo es muy inferior a la inicial lo cual no corresponde a la extracción como se puede ver en la Figura 4.3.

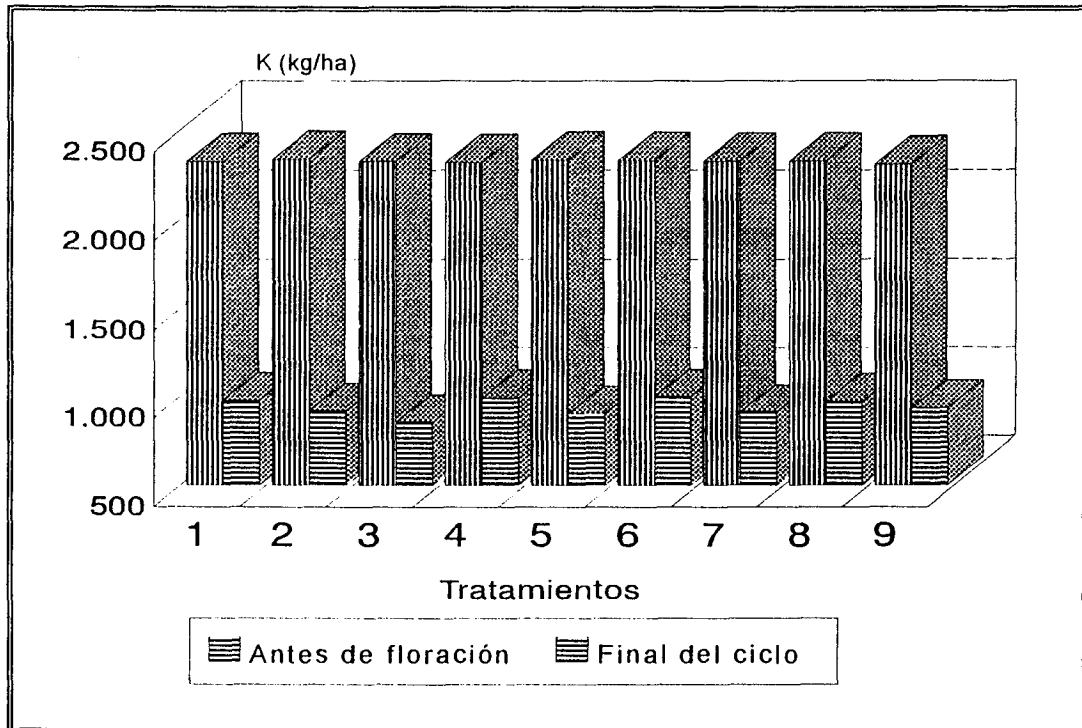


Figura 4.3. Contenido de potasio en el suelo en dos etapas del cultivo de papa en E. Zapata, primavera de 1994.

Fierro: en la siguiente figura se observa la cantidad de Fe en el suelo antes de la floración del cultivo y al final de su ciclo. Para los nueve tratamientos se nota que la extracción del elemento fue alrededor de los 400 g para cada uno (línea superior de la gráfica) si se comparan con el contenido inicial (incluyendo el suministrado en cada tratamiento), sin embargo, aunque no hubo gran diferencia significativa, el tratamiento que registró la mayor cantidad extraída (500 g) fue el

F2Z2M2H3 el cual consistió en 7, 10, 5 y 160 kg/ha de Fe, Zn, Mn y AH respectivamente, incluso más que con el nivel alto de Fe.

La respuesta al nivel bajo (3.5 kg/ha) y nivel alto (10.5 kg/ha) de Fe que representan los tratamientos F1Z2M2H2 y F3Z2M2H2 fue la misma en extracción de Fe. El nivel alto de Zn registró una cantidad inferior de Fe extraído con relación al nivel bajo. El Mn no mostró diferencias entre los dos niveles. Sequi (1978) sitúa a los AH como removedores de Fe desde complejos inorgánicos hasta la solución del suelo, por otro lado, Norvell y Welch en 1993 vieron una ligera disminución en concentración de Fe en retoños con el incremento de Zn.

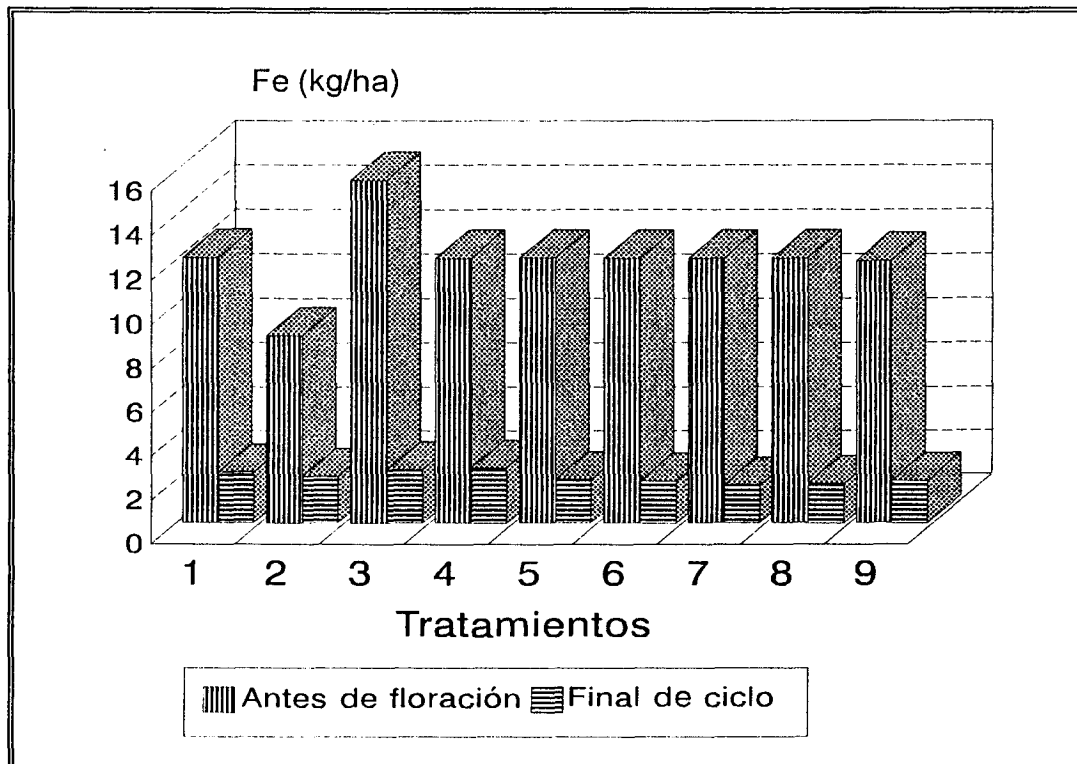


Figura 4.4. Cantidad de Fe antes de la floración y al final del ciclo.

Zinc: en la Figura 4.5 se aprecia que entre tratamientos se presentaron pequeñas diferencias con los valores obtenidos. Si se observan los puntos superiores de la gráfica, el nivel alto (10.5 kg/ha) de Fe o tratamiento F2Z3M2H2 provocó menos Zn extraído que el bajo (3.5 kg/ha).

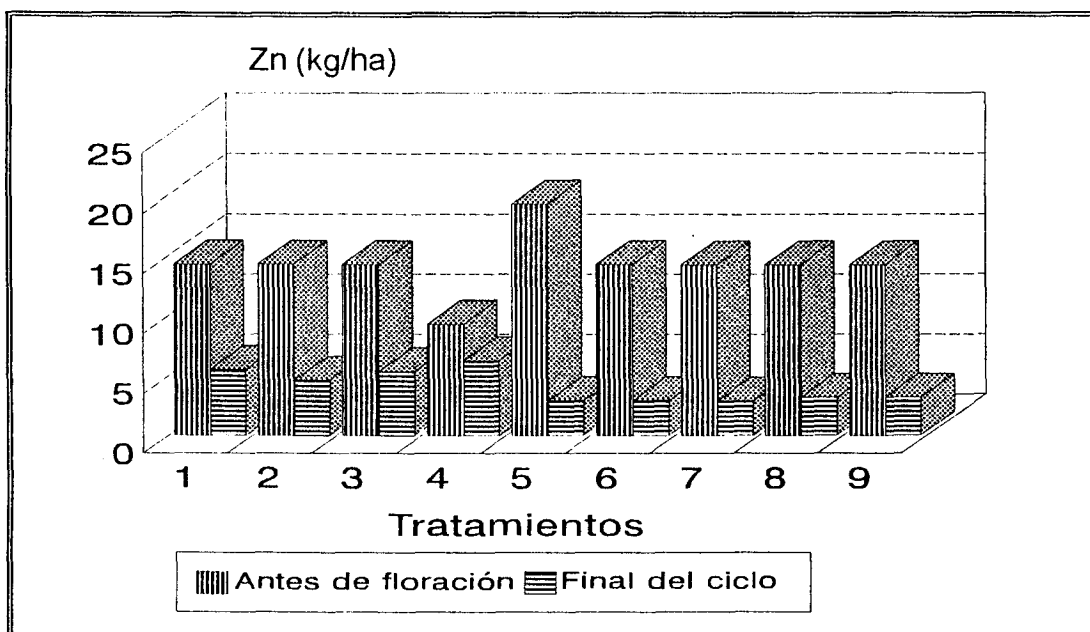


Figura 4.5. Zinc en el suelo después de su extracción por la planta antes de la floración y al final, Emiliano Zapata, Arteaga, primavera de 1994.

Para el nivel alto y bajo de Zn se mantuvieron los mismos valores de Zn extraído como sucedió con el Fe. Para el nivel bajo (2.5 kg/ha) y alto de Mn (7.5 kg/ha), apareció un valor bajo y alto respectivamente; y el nivel alto de AH (tratamiento F2Z2M2H3) mostró un pequeño incremento de Zn extraído nuevamente. Floneregan y Webb en 1993 encontraron que incrementos de Fe disminuyen la concentración de Zn en los tejidos, efecto que es muy importante

para la planta ya que este elemento promueve el crecimiento, como se verá más adelante en la variable altura de planta.

Manganeso: el suelo prácticamente mantuvo la misma cantidad de Mn al inicio que al final y el análisis de tejidos arrojó valores clasificados dentro de un nivel alto para todos los tratamientos; esto hace pensar que la planta aprovechó en forma efectiva solo del Mn suministrado en los tratamientos, y resulta contradictorio a lo que menciona Norvell en 1988, que en condiciones alcalinas y alto pH, (características del suelo donde se trabajó), el Mn^{+2} se adsorbe sobre calcita y se hace insoluble por acción del Ca^{+2} .

La única razón que se puede dar por el momento a esta contradicción y que es manejada por los mismos autores, es el hecho de que el Mn se ve grandemente afectado con reacciones tipo redox en el suelo, es decir, bajo condiciones adecuadas de aireación el elemento es fácilmente transformado a formas oxidadas no disponibles para las plantas, por lo tanto, se puede decir que tal vez las condiciones que se presentaron promovieron la reducción de las formas oxidadas.

Respecto al impacto de los tratamientos en la extracción de Mn, se puede decir que el efecto de los tres elementos (Fe, Zn y Mn) y el AH fue positivo, o sea que hubo incrementos de extracción de Mn en los niveles altos de las cuatro variantes. Hay reportes por los mismos autores que el Fe puede inhibir la

absorción de Mn en condiciones reducidas y que el P puede reaccionar para productos de limitada solubilidad, sin embargo, dados los resultados descritos, la presencia de estos elementos no influyó en gran medida para la absorción, sus cantidades estuvieron dentro de un rango adecuado. Cabe mencionar que el tratamiento con la mayor cantidad de Mn extraído fue el F2Z2M2H3 (nivel alto de AH), ver Figura 4.6.

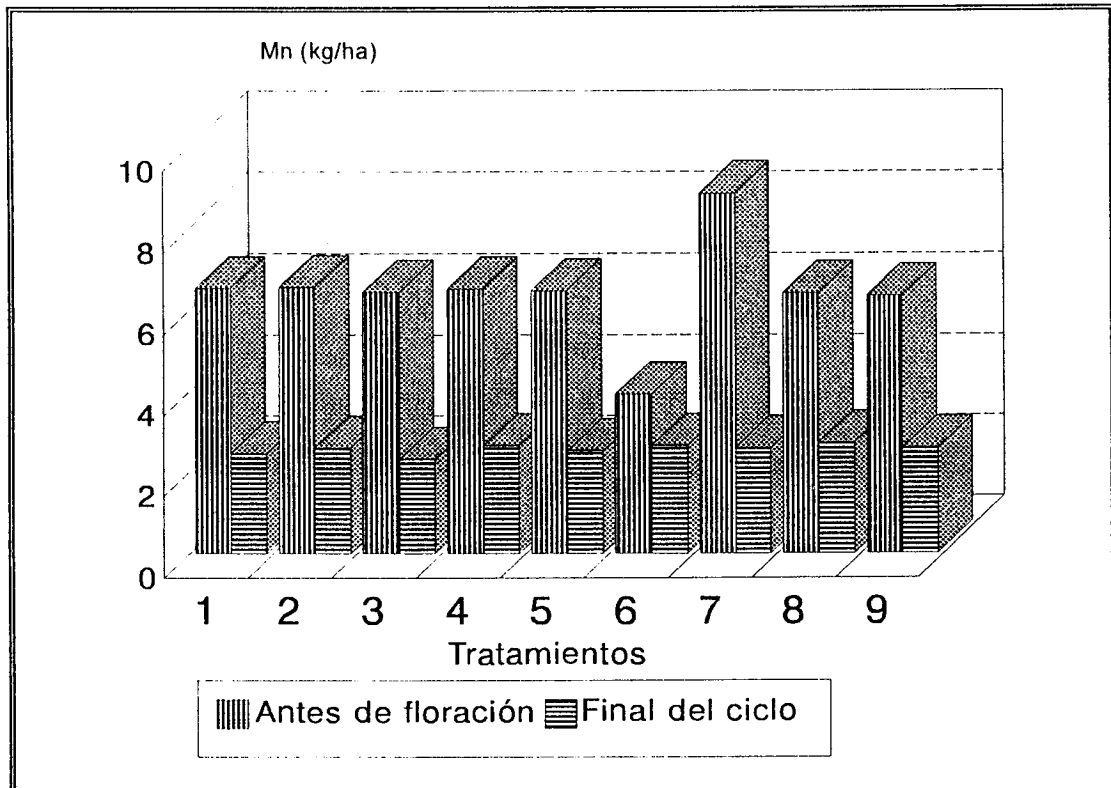


Figura 4.6. Mn en el suelo después de la extracción por planta antes de la floración y al final del ciclo.

Evaluación a las Diferentes Partes de la Planta

En el Cuadro 4.9 están los valores obtenidos de las mediciones hechas al tallo de las cuales se citan los siguientes aspectos más importantes:

Altura: la primera altura se determinó cuando la planta estaba en la primera etapa de desarrollo, aquí se ve que el tratamiento 5 (nivel alto de Zn) fue el mejor y le siguió el nivel alto de Fe (tratamiento 3), para el Mn se registró una ligera disminución de altura en el nivel alto así como para el nivel alto de AH. En esa etapa el suministro de Zn fue benéfico para su crecimiento. Skoong (1940) encontró que en plantas de tomate, el Zn incrementó el tamaño y elongación de tallos y concluyó que es necesario para la producción de auxinas en un estado activo.

En la segunda evaluación de altura de planta, el tratamiento F3Z2M2H2 con el nivel alto de Fe (10.5 kg/ha) fue el mejor, no obstante, los efectos del Zn y Mn fueron negativos registrándose disminuciones de altura con incrementos de estos elementos. Como mencionan Norvell y Welch en 1993, un incremento de Fe normalmente disminuye la concentración de Zn en los tejidos.

Número de tallos por planta: aquí el efecto al Fe y al AH fue positivo, es decir, los niveles altos de éstos (10.5 y 160 kg/ha respectivamente) provocaron mayor número de tallos por planta. Caso contrario pasó con el Mn donde

disminuyó este número en el tratamiento con el nivel alto (7.5 kg/ha). Moorby en 1978, menciona que entre los factores de importancia en el crecimiento de los brotes son el suministro de agua y nutrimentos.

Cuadro 4.9. Datos promedio de las mediciones hechas a tallos en dos etapas del cultivo.

<u>Tratamiento</u>		<u>Alt.I</u>	<u>Alt.II</u>	<u>Diámetro</u>	<u>No. tallos</u>	<u>No.tallos</u>
<u>No.</u>	<u>CLAVE</u>	<u>----- (cm) -----</u>	<u>----- (cm) -----</u>	<u>(cm)</u>	<u>planta</u>	<u>metro</u>
1	F2Z2M2H2	11.52	28.16	0.80	5.82	28.28
2	F1Z2M2H2	11.83	30.42	0.79	6.18	28.15
3	F3Z2M2H2	13.00	32.50	0.77	6.54	25.30
4	F2Z1M2H2	12.58	29.00	0.72	6.90	30.55
5	F2Z3M2H2	14.17	28.58	0.69	6.66	28.99
6	F2Z2M1H2	12.84	29.67	0.71	6.90	30.13
7	F2Z2M3H2	12.08	28.17	0.72	6.54	24.16
8	F2Z2M2H1	12.92	28.75	0.86	6.30	27.43
9	F2Z2M2H3	12.08	29.58	0.73	7.38	24.02

Respecto a las mediciones a tubérculos (Cuadro 4.10) se puede decir que en el número de tubérculos por planta hubo incrementos en los niveles altos de Fe, Zn y AH que equivalen a 10.5, 15 y 160 kg/ha respectivamente. El Mn con el mismo nivel disminuyó el valor. Gahus en 1984 dijo que los radicales libres de las sustancias húmicas juegan un papel muy importante en los efectos fisiológicos de las plantas.

Cuadro 4.10. Datos promedio de las mediciones realizadas a tubérculos en la última etapa del cultivo.

Tratamiento No. CLAVE	No. tubérculos planta	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)
1 F2Z2M2H2	14.96	5.12	3.96
2 F1Z2M2H2	15.06	5.26	4.07
3 F3Z2M2H2	16.94	5.09	4.00
4 F2Z1M2H2	16.21	5.26	4.14
5 F2Z3M2H2	17.25	4.45	3.50
6 F2Z2M1H2	17.04	5.05	3.74
7 F2Z2M3H2	15.90	6.17	4.46
8 F2Z2M2H1	16.21	4.52	3.55
9 F2Z2M2H3	18.60	5.30	4.12

Las siguientes dos evaluaciones son las producciones de la planta (Cuadro 4.11), que agrónomicamente, son las más importantes ya que representan la culminación de todo el sistema suelo-planta.

Biomasa: también en esta evaluación el suministro de Fe tuvo buena respuesta. En el tratamiento F3Z2M2H2 con el nivel alto (10.5 kg/ha) se registró un valor más alto en biomasa que el nivel bajo (tratamiento F1Z2M2H2: 3.5 kg/ha). Para el Zn sucedió lo contrario que con el Fe, es decir, el nivel bajo (5 kg/ha) obtuvo el valor más alto y para el Mn pasó lo mismo que el Zn.

El nivel alto de AH (F2Z2M2H3: 160 kg/ha) produjo la mayor cantidad de biomasa. De acuerdo a Chen y Aviad (1985) los efectos de las sustancias húmicas sobre el crecimiento de las plantas bajo una adecuada nutrición mineral, tienen

efectos positivos sobre la producción de biomasa, pero en concentraciones altas puede haber decrementos (Figura 4.7).

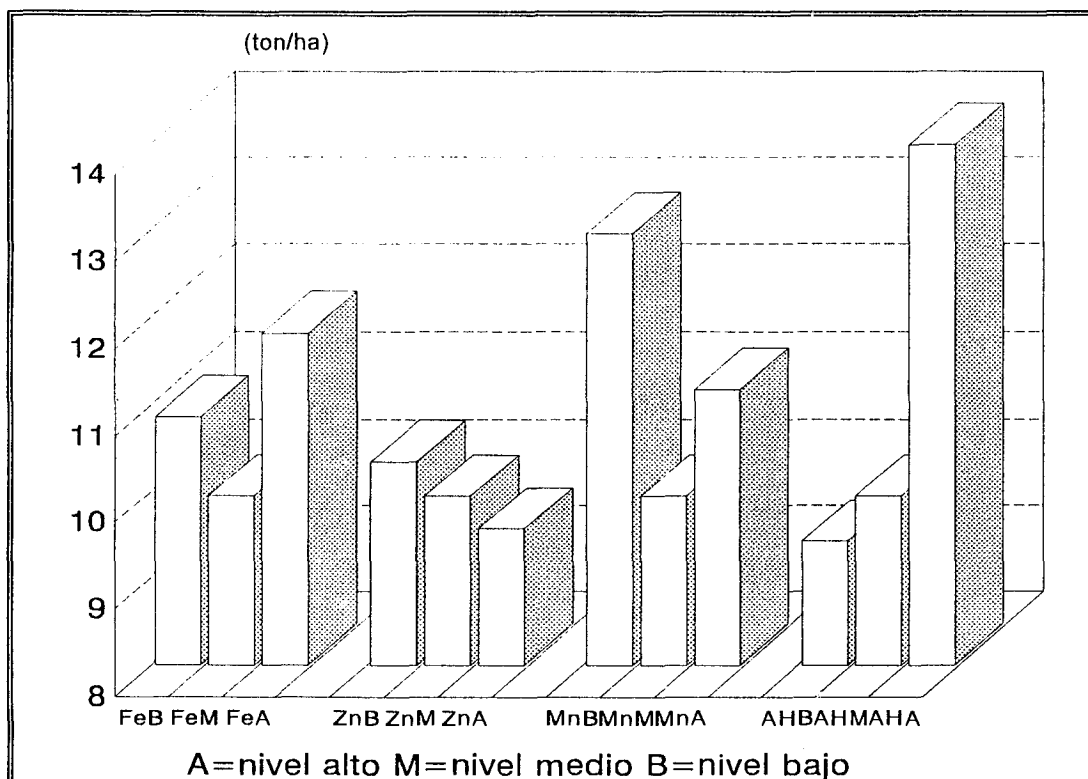


Figura 4.7. Efecto en producción de biomasa a los 75 después de sembrar.

Tubérculos: el efecto de los tratamientos en la producción de tubérculos a los 75 días después de la siembra fue igual que en la biomasa (Figura 4.8); no obstante, en este caso, resaltan las diferencias que mostraron los efectos del Mn y AH. En el primer caso fue menor la producción 9.19 ton, con el nivel alto que en el nivel bajo; y en el segundo caso aumentó 20.47 ton el nivel alto con relación al bajo por lo que fue el mejor tratamiento de los nueve.

Es importante aclarar que el Mn en el análisis foliar presentó niveles altos en todos los tratamientos como se mencionó anteriormente, pero este elemento, ha mostrado efectos negativos en la mayoría de los parámetros evaluados a la planta.

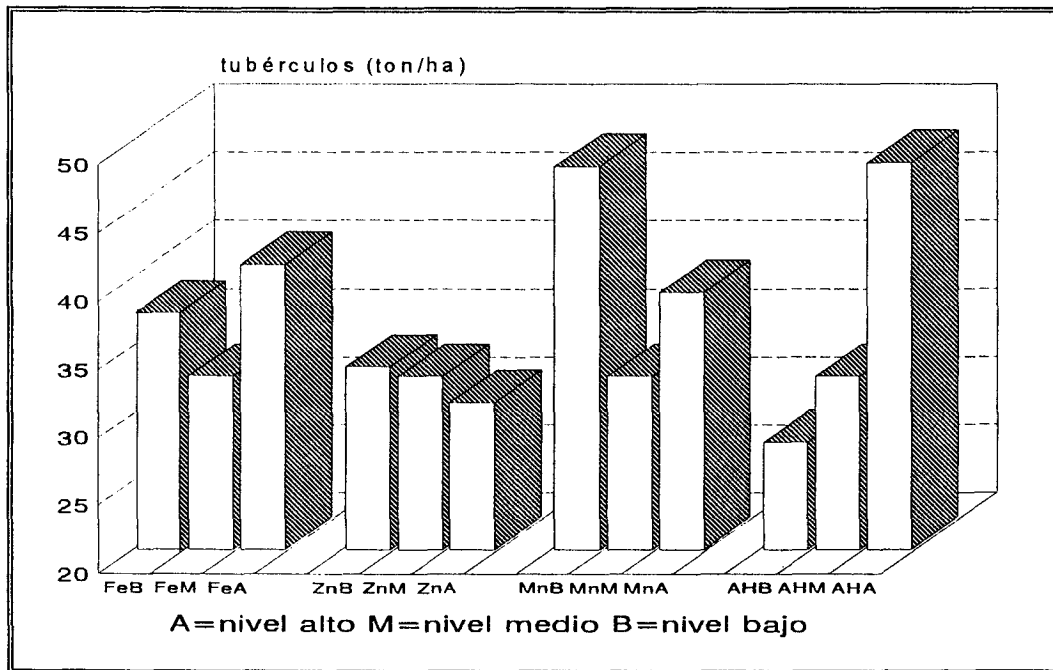


Figura 4.8. Efecto de los tratamientos en la producción de tubérculos totales a los 75 días después de la siembra.

A este respecto lo que mencionó Loneragan (1988) puede ser una razón para tales. Dijo que la acumulación de Mn en las hojas no puede ser removido, mientras que en las raíces y tallos si puede ser, que es altamente móvil del floema para semillas pero inmóvil hacia raíces.

Cuadro 4.11. Producciones promedio por tratamiento de biomasa y tubérculos (última etapa).

Tratamientos		Biomasa	Tubérculos
No.	CLAVES	(ton/ha)	(ton/ha)
1	F2Z2M2H2	9.95	32.77
2	F1Z2M2H2	10.86	37.66
3	F3Z2M2H2	11.82	40.97
4	F2Z1M2H2	10.35	33.51
5	F2Z3M2H2	9.57	30.86
6	F2Z2M1H2	12.96	48.12
7	F2Z2M3H2	11.18	38.93
8	F2Z2M2H1	9.42	27.93
9	F2Z2M2H3	13.99	48.40

CONCLUSIONES

1. Con el tratamiento F2Z2M2H3, el cual contiene el nivel alto de AH (160 kg/ha) aumentó la retención de humedad del suelo 2.04 por ciento a CC en relación al tratamiento F2Z2M2H1 (sin AH), comprobándose así el efecto positivo de las sustancias húmicas en esta característica, planteado en la primera hipótesis, aunque no hubo diferencia estadística significativa.
2. Se confirma la segunda hipótesis con el tratamiento cinco (F2Z3M2H2), que incluye la aplicación de 15 kg/ha (nivel alto) de Zn al suelo, el cual promovió la producción de nitrógeno total (NT) y materia orgánica.
3. Se encontró que en el suelo el nivel alto de Zn disminuye la extracción de Fe, el nivel alto de Fe (10.5 kg/ha) no causa efecto en la toma de Zn, pero éstos incrementan la extracción de Mn; y el nivel alto de Mn (7.5 kg/ha) tiene efecto positivo en la toma de Zn. De esta manera se hace válida la hipótesis dos y se cumple con el primer objetivo.
4. Conforme se aumenta la dosis de AH, desde cero hasta 160 kg/ha, aumenta la extracción de la mayoría de los nutrientes por la planta (principalmente N), lo cual hace válido lo expuesto en la primera hipótesis.
5. Las dosis altas de Fe y Zn contenidas en los tratamientos F3Z2M2H2 y F2Z3M2H2 respectivamente, promovieron la altura de planta en la primera

etapa del cultivo (Zn más que Fe). La tercera hipótesis y el primer objetivo se cumplen con esto.

6. El Fe y los AH tuvieron efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de la planta desde una edad temprana, resaltándose los incrementos considerables de biomasa y peso de tubérculos totales (48.40 ton/ha) con los niveles altos, comparándolos con los bajos, a los 75 días después de la siembra. El efecto del nivel alto de Mn en la planta es negativo desde el inicio.
7. Se puede sugerir aplicar junto con la fertilización de fondo 10.5 kg/ha de Fe, 10 kg/ha de Zn, 2.5 kg/ha de Mn y 100 kg/ha de AH, con sus aplicaciones foliares de acuerdo al nivel, para cumplir con el segundo objetivo.

RESUMEN

Uno de los principales problemas que tiene el cultivo en la región que se ubica entre los estados de Coahuila y Nuevo León, es la mala nutrición mineral derivada de las características físicas y químicas del suelo inadecuadas. En este trabajo se hizo un estudio con Fe, Zn y Mn combinados con AH en dosis altas y bajas para cada variable aplicados al suelo y a las hojas después de la fertilización de fondo, generándose nueve tratamientos al incluir un nivel medio (tratamiento 1: F2Z2M2H2). Los objetivos del trabajo fueron los siguientes:

1. Conocer el efecto de las sustancias húmicas en la dinámica del Fe, Zn y Mn dentro de suelo y planta mediante análisis físicos y químicos de ambos.
2. Determinar el nivel más adecuado de las cuatro variables para el buen crecimiento y desarrollo de la planta, donde se eviten interacciones negativas entre elementos y se promueva el mejoramiento del suelo.

Se realizó un análisis físico y químico de suelo al inicio y al final del trabajo, y a la planta se le hicieron mediciones en sus diferentes partes en la primera y última etapa de crecimiento (altura, número de tallos, biomasa, peso de tubérculos, etc.). Para el análisis estadístico se utilizó el diseño bloques al azar con cuatro repeticiones.

Al final del trabajo se obtuvo un mejoramiento de la retención de humedad a capacidad de campo con el tratamiento F2Z2M2H3 (nivel alto de AH), observándose un incremento con respecto al tratamiento ocho (sin AH) de 2.04 por ciento y con respecto al nivel medio (tratamiento F2Z2M2H2) del 5.30 por ciento. El tratamiento F2Z3M2H2 que contenía el nivel alto de Zn (15 kg/ha) promovió la producción de materia orgánica y nitrógeno del suelo al final del ciclo, registrándose 4.11 por ciento de la primera y 98.65 kg/ha del segundo, cantidades que fueron las más altas de los nueve tratamientos. El mismo tratamiento F2Z3M2H2 causó una pequeña disminución de Fe extraído por la planta en comparación del F2Z1M2H2, tratamiento con el nivel bajo de Zn (5 kg/ha), los niveles bajo y alto de Fe no causaron ningún efecto en la toma de Zn y en los niveles altos de Fe y Zn se vio un efecto positivo en la extracción de Mn.

Con 160 kg/ha de AH se incrementó la toma de todos los nutrimentos por la planta, principalmente nitrógeno, los tratamientos tres (F3Z2M2H2) y cinco (F2Z3M2H2) estimularon el crecimiento de la planta en la primera etapa del cultivo. También se registraron los más altos valores de biomasa y peso de tubérculos totales con los tratamientos F3Z2M2H2 y F2Z2M2H3 a los 75 días después de la siembra.

Por lo anterior se sugirió aplicar con la fertilización de fondo, 10.5 kg/ha de Fe, 10 kg/ha de Zn, 2.5 kg/ha de Mn y 100 kg/ha de AH, complementando con aspersiones foliares.

LITERATURA CITADA

- André, L. 1988. Los microelementos en la agricultura. Trad. Alonso Domínguez. Ed. Mundi-prensa. Madrid.
- Armas U., R., D. Ortega E. y G. Rodés R. 1988. Fisiología vegetal. Edición pueblo y educación. Playa, Cd. de la Habana.
- Barrow, N.J. 1993. Mechanisms of reaction of zinc with soil and components. In: Robson, D.A. (Ed.). Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 15-29.
- Brennan, R.F., J.D. Armour, and D.J. Reuter. 1993. Diagnosis of zinc deficiency. In: Robson, D.A. (Ed.). Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 167-171.
- Brown, J.E., y B.A. Kratky. 1983. Microelementos. Causas de deficiencia y toxicidad. Agricultura de las Américas. 32(6): 6-11. México.
- Brown, H.P., I. Cakmak, and Q. Zhang. 1993. Form and function of zinc plant. In: Robson, D.A. (Ed.). Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 93-103.
- Chen, Y. and T. Aviad. 1985. Effects of Humic Substances on Plant Growth. Soil Science. p(161-186). USA.
- Choudhry, G.G. 1984. Humic Substances. Gordon and Breach Scientific Publishers. New York.
- David, P.P., P.V. Nelson and D.A. Sanders. 1994. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. Journal of Plant Nutrition. 17(1): 173-184.
- Díaz Z., R. 1989. Estudio monográfico de la pierna negra (*Erwinia carotovora* var. atroseptica) en el cultivo de la papa *Solanum tuberosum*. Tesis. UAAAN.
- Dinel, H., G. Mehuys and L. Vesque. 1991. Influence of humic and fulvic materials on the aggregation and stability of a lacustrine silt clay. Soil Science. 15(2): 146-158.

- Edmon J., B. 1981. Principios de horticultura. 5 Ed. Continental S.A. México España.
- Fagbenro, J.A. and A.A. Agboola. 1993. Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. *Journal of Plant Nutrition*. 16(8): 1465-1483. U.S.A.
- Loneragan, J., and J.M. Webb. 1993. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: Robson, D.A. (Ed.). *Zinc in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 119-131
- Gorranson, A. and J.S. McDonald. 1993. Growth and nutrition of small *Betula pendula* plants at different relative addition rates of iron, manganese and zinc. In: Barrow (Ed.). *Plant Nutrition. From genetic engineering to field practice*. Kluwer Academic Publishers. U.S.A. p. 697-700.
- Hannam, J.R., and K. Ohki. 1988. Detection of manganese deficiency and toxicity in plants. In: Graham, D.R. (Ed.). *Manganese in soils and plants*. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 243-255.
- Harris, P.M. 1978. *The potato crop. The scientific basis for improvement* London Chapman and Hall. N.Y. p. 48-240.
- Horton, D. 1987. *Potatoes. Production, marketing and programs for developing countries*. Westview Press (Boulder) IT publications. USA.
- Houghland, G.V. 1964. Nutrient deficiencies in the potato. In: Howard (Ed.) *Hunger signs in crops*. David McKay Company. New York. p.(221-232).
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1994. *E Sector Alimentario en México*. Comisión Nacional de Alimentos México.
- Jones, J.B., B. Wolf, and H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro Macro Publishing. U.S.A.
- Locascio, S.J., and R.D. Rhue. 1990. Phosphorus and micronutrient sources for potato. *American Potato Journal*. 67(3): 217-226. Maine, Canadá.
- Loneragan, F.J. 1988. Distribution and movement of manganese in plants. In Graham, D.R.(Ed.). *Manganese in soils and plants*. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 113-121.
- Longnecker, E.N., and D.A. Robson. 1993. Distribution and transport of zinc in plants. In: Robson, D.A. (Ed.). *Zinc in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 79-89.

- Marshner, H. 1993. Zinc uptake from soils. In: Robson, D.A. (Ed.). Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 59-71.
- Moorby, J. 1978. The physiology of growth end tuber yield. In: Harris, J. (Ed.). The potato crop. Chapman and Hall. New York. p. 153-188.
- Mortvedt, J.J., and R.J. Gilkes. 1993. Zinc fertilizer. In: Robson, D.A. (Ed.). Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 33-43.
- Narro, F., E. 1994. Física de Suelos. Con Enfoque Agrícola. Editorial Trillas. México. p. 23-28.
- Norvell, W.A. 1988. Inorganic reactions of manganese in soils. In: Graham, D.R.(Ed.). Manganese in soils and plants. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 37-53.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1993. Producción. 47(117). México.
- Ramos, C., P. 1991. Diagnóstico Sobre el Cultivo de la Papa (*Solanum tuberosum* L.) en el área de influencia de la UAAAN. Monografía. Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Sanders, L. 1993. En el campo. Productores de hortalizas. 2(3):20-25.
- Sequi, P. 1978. Humic Substances: General Influences on Soil Fertility. Golden West, chemical distributors, Inc. Merced California. p(1-10).
- Takkar, P.N., and D.C. Walker. 1993. The distribution and correction of zinc deficiency. In: Robson, D.A. (Ed.). Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers. Boston. p. 151-161.
- Valadez L., A. (1994). Producción de Hortalizas. UTEHA Limusa. México. p. 212-223.
- Visser, S.A. 1986. Humic substances. Effect on soil and plants. REDA. Rome. p(89-135).
- Walworth, J.L. and J.E. Muñiz. 1993. A compendium of tissue nutrient concentration for field grown potatoes. American Potato Journal. 70(8): 579-597. U.S.A.

APENDICE A

**RESULTADOS DEL ANALISIS FISICO FINAL DE SUELO POR
PARCELA EXPERIMENTAL**

Cuadro A.1. Análisis granulométrico y textura: promedio.

Tratamiento-	Arena	Limo	Arcilla	Clasificación
	----- (%) -----			
1	15.50	41.25	43.25	Arcilla limosa (RL)
2	12.75	39.25	48.00	Arcilla (R)
3	14.25	39.75	46.00	Arcilla (R)
4	11.50	41.00	47.50	Arcilla Limosa (RL)
5	11.75	42.75	45.50	Arcilla Limosa (RL)
6	11.00	39.75	49.25	Arcilla (R)
7	11.75	45.75	42.50	Arcilla Limosa (RL)
8	12.50	39.50	48.00	Arcilla (R)
9	12.75	45.25	42.00	Arcilla Limosa (RL)

Cuadro A.2. Densidad aparente: muestras simples

Tratamiento	----- Bloques -----				Totales	Media
	I	II	III	IV		
1	1.09	1.10	1.09	1.11	4.39	1.10
2	1.14	1.09	1.15	1.14	4.52	1.13
3	1.11	1.06	1.06	1.09	4.32	1.08
4	1.11	1.06	1.18	1.09	4.44	1.11
5	1.11	1.06	1.06	1.09	4.32	1.08
6	1.19	1.11	1.09	1.09	4.48	1.12
7	1.10	1.09	1.09	1.11	4.39	1.10
8	1.04	1.11	1.06	1.11	4.32	1.08
9	1.14	1.11	1.06	1.11	4.42	1.11

Cuadro A.3. Densidad de solidos: muestras simples

Tratamiento	----- Bloques -----				Totales	Media
	I	II	III	IV		
1	2.35	2.20	2.50	2.29	9.34	2.34
2	2.30	2.26	2.40	2.49	9.45	2.36
3	2.34	2.24	2.15	2.70	9.43	2.36
4	2.60	2.49	2.33	2.46	9.88	2.47
5	2.44	2.07	2.28	2.44	9.23	2.31
6	2.38	2.31	2.38	2.23	9.30	2.33
7	2.18	2.34	2.28	2.22	9.02	2.26
8	2.17	2.36	2.15	2.31	8.99	2.25
9	2.33	2.42	2.28	2.31	9.34	2.34

Cuadro A.4. Espacio poroso: muestras simples.

Tratamiento	----- Bloques -----				Totales	Media
	I	II	III	IV		
1	53.63	49.89	56.44	51.51	211.47	52.87
2	50.47	51.80	52.14	54.29	208.70	52.18
3	52.50	52.61	50.65	59.63	215.39	53.85
4	57.24	57.45	49.41	55.68	219.78	54.95
5	54.44	48.69	53.50	55.31	211.94	52.99
6	50.10	51.86	54.14	51.02	207.12	51.78
7	49.57	53.36	52.24	50.03	205.20	51.30
8	51.99	52.91	50.65	52.00	207.55	51.89
9	51.03	54.09	53.41	51.95	210.48	52.62

Cuadro A.5. Contenido de humedad a CC: muestras simples.

Tratamiento	----- Bloques -----				Totales	Media
	I	II	III	IV		
1	46.27	34.15	32.86	33.68	146.96	36.74
2	47.53	56.47	31.16	31.98	167.14	41.79
3	60.97	33.70	33.99	34.20	162.86	40.72
4	45.84	59.13	32.42	25.50	162.89	40.72
5	47.44	31.68	31.58	31.66	142.36	35.59
6	57.17	47.95	32.31	34.09	171.52	42.88
7	47.14	47.99	31.67	34.61	161.41	40.35
8	61.67	33.05	32.13	33.19	160.04	40.01
9	46.76	57.96	31.47	33.55	169.74	42.44

Cuadro A.6. Contenido de humedad a PMP: muestras simples.

Tratamiento	----- Bloques -----				Totales	Media
	I	II	III	IV		
1	25.14	18.56	17.85	18.30	79.85	19.96
2	25.83	30.69	16.93	17.59	91.04	22.76
3	31.78	18.31	18.47	18.79	87.35	21.84
4	24.91	32.14	17.79	13.79	88.63	22.16
5	25.78	17.21	17.28	17.20	77.47	19.37
6	31.06	26.06	17.56	18.52	93.20	23.30
7	25.61	26.08	17.21	18.81	87.71	21.93
8	33.51	17.96	17.46	18.03	86.96	21.74
9	25.41	31.50	17.10	19.32	93.33	23.33

APENDICE B

RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO FINAL DEL SUELO POR UNIDAD

EXPERIMENTAL

Cuadro B.1. Determinación: materia orgánica (%).

Tratamiento	----- Bloques -----				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	3.20	3.13	3.60	3.80	13.73	3.43
2	3.60	4.00	3.53	3.80	14.93	3.73
3	4.00	2.93	3.20	5.18	15.31	3.83
4	3.50	4.07	3.60	3.46	14.63	3.66
5	4.20	3.46	3.46	5.32	16.44	4.11
6	4.00	3.13	2.93	3.53	13.59	3.40
7	3.93	3.13	3.60	4.20	14.86	3.72
8	4.00	3.13	3.13	4.00	14.26	3.57
9	3.13	3.73	3.53	3.80	14.19	3.55

Cuadro B.2. Determinación: pH

Tratamiento	----- Bloques -----				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	8.05	7.98	8.18	7.98	32.19	8.03
2	8.09	7.86	8.01	8.16	32.12	8.03
3	7.98	7.95	8.09	7.95	31.97	7.99
4	7.85	7.85	7.92	8.07	31.69	7.92
5	7.95	7.93	7.98	7.90	31.76	7.93
6	8.17	7.99	7.91	7.85	31.92	7.98
7	8.17	8.22	7.93	7.87	32.19	8.05
8	7.88	7.93	8.12	8.04	31.97	7.99
9	7.98	8.01	7.85	7.92	31.76	7.94

Cuadro B.3 Determinación: nitrógeno total (kg/ha).

Tratamiento	----- Bloques -----				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	76.80	75.12	86.40	91.20	329.52	82.38
2	86.40	96.00	84.72	91.20	358.32	89.58
3	96.00	70.32	76.80	124.32	367.44	91.86
4	84.00	97.68	86.40	83.04	351.12	87.78
5	100.85	83.04	83.04	127.68	394.61	98.65
6	96.00	75.12	70.32	84.72	326.16	81.54
7	94.32	75.12	86.40	100.80	356.64	89.16
8	96.00	75.12	75.12	96.00	342.24	85.56
9	75.12	89.52	84.72	91.20	340.56	85.14

Cuadro B.4. Determinación: fósforo total (kg/ha).

Tratamiento	----- Bloques -----				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	105.15	116.14	84.03	93.32	398.64	99.66
2	109.38	190.50	104.31	62.06	466.25	116.56
3	113.60	116.98	121.21	112.76	464.55	116.14
4	123.74	111.07	106.00	64.59	405.35	101.35
5	108.53	114.45	119.52	109.38	451.88	112.97
6	102.62	138.11	127.12	119.91	487.76	119.94
7	116.14	114.45	100.93	107.69	439.21	109.80
8	122.90	115.29	122.90	111.07	472.16	118.04
9	107.69	127.12	117.83	88.25	440.89	110.22

Cuadro B.5. Determinación: potasio total (kg/ha).

Tratamiento	----- Bloques -----				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	847.38	1032.50	1032.50	1015.14	3927.52	981.88
2	772.17	1032.50	951.51	936.08	3692.26	923.07
3	916.80	951.51	685.40	870.52	3424.23	856.06
4	974.65	1020.93	980.43	1003.57	3979.58	994.90
5	633.33	997.79	1032.50	957.29	3620.91	905.23
6	974.65	997.79	997.79	1032.50	4002.73	1000.68
7	812.67	1009.36	951.51	876.30	3649.84	912.46
8	1032.50	963.08	957.29	951.51	3904.40	976.10
9	708.54	1032.50	1032.50	974.65	3748.19	937.05

Cuadro B.6. Determinación: carbonatos totales (%).

Tratamiento	----- Bloques -----				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	20.80	24.90	24.90	29.70	100.30	25.08
2	20.30	23.10	24.00	26.30	93.70	23.42
3	22.15	26.75	26.75	27.40	103.05	25.76
4	21.70	22.60	25.40	24.20	93.90	23.48
5	24.45	23.10	26.75	28.30	102.60	25.65
6	22.60	24.90	24.00	27.40	98.90	24.73
7	22.60	21.70	25.40	26.00	95.70	23.93
8	20.80	20.30	27.20	26.30	94.60	23.65
9	23.10	22.60	25.85	27.40	98.95	24.74

Cuadro B.7. Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g).

Tratamiento	----- Bloques -----				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	28.03	27.89	28.83	29.23	113.98	28.49
2	31.20	32.00	31.06	31.60	125.86	31.47
3	31.00	28.86	29.40	33.36	122.62	30.66
4	30.75	31.89	30.95	30.97	124.56	31.06
5	31.15	29.67	29.67	33.39	123.88	30.97
6	32.63	30.89	30.49	31.69	125.70	31.43
7	29.11	27.51	28.45	29.65	114.72	28.68
8	32.00	30.26	30.26	32.00	124.52	31.13
9	27.26	28.46	28.06	28.60	112.38	28.09

Cuadro B.8. Determinación: saturación de bases (%).

Tratamiento	----- Bloques -----				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	51.50	51.50	50.75	50.00	203.75	50.94
2	51.25	52.50	50.50	52.00	206.20	51.56
3	52.50	52.25	51.75	51.50	208.00	52.00
4	51.00	51.50	51.75	51.25	205.50	51.34
5	53.00	50.50	52.00	50.75	206.25	51.56
6	52.00	51.00	51.00	51.00	205.00	51.25
7	51.25	50.75	51.25	50.75	204.00	51.00
8	51.75	51.50	51.75	52.00	207.00	51.75
9	51.25	50.50	50.50	51.75	204.00	51.00

Cuadro B.9. Conductividad eléctrica (dS/m).

Tratamiento	----- Bloques -----				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	1.57	1.54	1.55	1.58	6.24	1.56
2	1.56	1.55	1.57	1.53	6.21	1.55
3	1.54	1.59	1.55	1.58	6.26	1.57
4	1.58	1.57	1.54	1.53	6.22	1.56
5	1.57	1.54	1.56	1.63	6.30	1.58
6	1.52	1.54	1.60	1.62	6.28	1.57
7	1.54	1.53	1.60	1.57	6.24	1.56
8	1.58	1.57	1.53	1.56	6.24	1.56
9	1.59	1.63	1.62	1.52	6.36	1.59

APENDICE C

MEDICIONES EFECTUADAS A PLANTA POR PARCELA EXPERIMENTAL

Cuadro C.1. Primera medición de altura (cm).

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	10.33	10.33	17.00	8.67	46.33	11.58
2	13.33	10.67	13.00	10.33	47.33	11.83
3	11.33	16.00	11.00	13.67	52.00	13.00
4	14.00	10.00	16.67	9.67	50.34	12.58
5	13.33	16.33	14.00	13.00	56.66	14.17
6	8.67	15.00	13.67	14.00	51.54	12.88
7	12.33	9.67	11.67	14.67	47.34	12.08
8	11.00	16.33	11.33	13.00	51.66	12.92
9	9.00	13.67	12.00	13.67	48.34	12.08

Cuadro C.2. Segunda medición de altura (cm).

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	29.33	25.33	28.33	29.67	112.66	28.16
2	26.67	33.67	31.33	30.00	121.67	30.42
3	28.00	33.00	33.67	35.33	130.00	32.50
4	23.00	34.00	32.67	26.33	116.00	29.00
5	25.33	28.00	30.00	31.00	114.33	28.58
6	30.33	26.00	33.33	29.00	118.66	29.67
7	23.33	32.33	28.67	28.33	112.66	28.17
8	30.00	27.00	27.33	30.67	115.00	28.75
9	25.00	30.00	27.00	36.33	118.33	29.58

Cuadro C.3. Diámetro de tallos (cm).

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	0.75	0.73	0.93	0.80	3.21	0.80
2	0.74	0.72	0.87	0.82	3.15	0.79
3	0.82	0.70	0.85	0.71	3.08	0.77
4	0.74	0.72	0.71	0.72	2.89	0.72
5	0.72	0.57	0.62	0.83	2.74	0.69
6	0.87	0.63	0.69	0.64	2.83	0.71
7	0.62	0.81	0.76	0.69	2.88	0.72
8	1.04	0.60	1.06	0.72	3.42	0.86
9	0.82	0.74	0.67	0.67	2.90	0.73

Cuadro C.4. Número de tallos por planta.

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	6.30	6.30	4.85	5.82	23.27	5.82
2	6.30	7.26	5.33	5.82	24.71	6.18
3	5.82	6.30	6.30	7.74	26.16	6.54
4	6.30	5.82	8.70	6.78	27.60	6.90
5	5.82	7.74	7.26	5.82	26.64	6.66
6	5.82	7.26	7.26	7.26	27.60	6.90
7	7.26	6.30	6.30	6.30	26.16	6.54
8	4.85	6.78	7.74	5.82	25.19	6.30
9	6.30	7.74	5.33	10.15	29.52	7.38

Cuadro C.5. Número de tallos por metro.

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	26.43	29.27	24.73	32.68	113.11	28.28
2	33.25	21.32	24.73	21.32	100.62	25.15
3	18.48	29.84	29.84	23.02	101.18	25.30
4	30.98	27.57	29.27	34.39	122.21	30.55
5	23.59	40.07	31.55	20.75	115.96	28.99
6	23.59	32.11	24.16	40.64	120.50	30.13
7	28.14	21.89	19.61	27.00	96.64	24.16
8	25.86	28.14	28.14	27.57	109.72	27.43
9	20.18	22.45	25.30	28.14	96.07	24.02

Cuadro C.6. Número de tubérculos por planta (75 días).

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	16.21	14.12	14.54	14.96	59.83	14.96
2	15.37	17.87	12.46	14.54	60.24	15.06
3	17.87	16.62	16.21	17.04	67.74	16.94
4	13.29	14.12	21.63	15.79	64.83	16.21
5	17.87	18.29	15.79	17.04	68.99	17.25
6	17.46	17.46	17.46	15.79	68.17	17.04
7	17.87	15.79	13.71	16.21	63.58	15.90
8	12.87	17.87	18.71	15.37	64.82	16.21
9	15.79	21.63	12.46	24.54	74.42	18.61

Cuadro C.7. Diámetro polar de tubérculos en cm (75 días).

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	5.08	4.55	5.48	5.35	20.46	5.12
2	4.98	5.10	5.83	5.13	21.04	5.26
3	4.43	5.47	5.32	5.13	20.35	5.09
4	7.23	4.45	4.76	4.59	21.03	5.26
5	3.93	4.97	3.60	5.30	17.80	4.45
6	4.91	5.91	4.72	4.65	20.19	5.05
7	5.83	6.23	7.43	5.17	24.66	6.17
8	4.94	3.71	4.00	5.43	18.08	4.52
9	5.38	5.98	4.85	4.97	21.18	5.30

Cuadro C.8. Diámetro ecuatorial de tubérculos (cm).

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	4.10	3.26	4.20	3.90	15.46	3.87
2	3.83	4.03	4.63	3.79	16.28	4.07
3	3.10	4.41	4.33	4.14	15.98	4.00
4	5.28	3.55	3.78	3.95	16.56	4.14
5	3.03	3.57	3.13	4.28	14.01	3.50
6	3.80	4.57	3.57	3.00	14.94	3.74
7	4.14	4.87	5.01	3.80	17.82	4.46
8	4.37	3.07	2.91	3.83	14.18	3.55
9	4.28	4.60	3.97	3.63	16.48	4.12

Cuadro C.9. Biomasa (ton/ha) 75 días después de la siembra

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	10.75	7.86	9.54	11.67	39.82	9.96
2	10.66	10.99	9.58	12.18	43.41	10.85
3	9.34	13.63	12.13	12.17	47.27	11.82
4	9.44	8.90	13.51	9.55	41.40	10.35
5	8.37	12.09	7.92	9.91	38.29	9.57
6	12.97	14.30	13.21	11.38	51.86	12.97
7	9.05	13.56	11.78	10.32	44.71	11.18
8	7.63	8.70	8.60	12.73	37.66	9.42
9	14.00	19.06	7.10	15.81	55.97	13.99

Cuadro C.10. Tubérculos totales a los 75 días después de la siembra (ton/ha).

Tratamiento	Bloques				Total	Media
	I	II	III	IV		
1	37.42	19.33	32.48	41.86	131.09	32.77
2	39.03	37.20	32.26	42.14	150.63	37.66
3	28.76	49.85	39.58	45.69	163.88	40.97
4	29.37	26.65	50.41	27.59	134.02	33.51
5	23.49	43.47	23.38	33.09	123.43	30.86
6	48.91	53.18	49.24	41.14	192.47	48.12
7	30.37	50.24	41.30	33.81	155.72	38.93
8	20.88	26.37	16.83	47.63	111.71	27.93
9	43.19	70.39	21.27	58.73	193.58	48.40

A P E N D I C E D

ANALISIS DE VARIANZA PARA TODAS LAS VARIABLES ESTUDIADAS

Análisis de Varianza Para Todas las Variables Analizadas:

Cuadro D.1. Datos requeridos para el ANVA en base al experimento

Fuentes de variación (FV)	Grados de libertad (GL)
Tratamientos	8
Bloques	3
Error	24
Total	35

F requerido para tratamientos = 2.36 (5%), 3.36 (1%)

F requerido para bloques = 3.01 (5%), 4.72 (1%)

Cuadro D.2. Resultados de los ANVA de las características físicas del suelo.

Var	FV	SC	CM	F	CV	S
Da	Trat.	0.10544	0.001318	1.3038	2.89	NS
	Bloques	0.003792	0.001264	1.2503		NS
	Error	0.024261	0.001011			
	Total	0.038597				
Ds	Trat.	0.137482	0.017185	0.9928	5.64	NS
	Bloques	0.041061	0.013687	0.7907		NS
	Error	0.415421	0.017309			
	Total	0.593964				
E	Trat.	40.859375	5.107422	0.7335	5.00	NS
	Bloques	7.492188	2.497396	0.3587		NS
	Error	167.117188	6.963216			
	Total	215.468750				
CC	Trat.	203.960938	25.49511	0.466	18.3	NS
	Bloques	2352.250000	784.08331	14.346		**
	Error	1311.671875	54.65299			
	Total	3867.882813				
PMP	Trat.	59.832031	7.47900	0.477	18.1	NS
	Bloques	637.324219	224.44146	14.329		**
	Error	376.056641	15.66902			
	Total	1109.212891				

Cuadro D.3. Resultados de los ANVA de las características químicas del su

Var	FV	SC	CM	F	CV	S
MO	Trat.	1.523956	0.190495	0.8683	12.7	NS **
	Bloques	3.126953	1.042318	4.7510		
	Error	5.265320	0.219388			
	Total	9.916229				
pH	Trat.	0.065430	0.008179	0.6045	1.45	NS NS
	Bloques	0.015381	0.005127	0.3789		
	Error	0.324707	0.013529			
	Total	0.405518				
CO ₃	Trat.	26.453125	3.30664	1.681	5.72	NS **
	Bloques	132.955078	44.31835	22.534		
	Error	47.201172	1.96671			
	Total	206.609375				
CIC	Trat.	60.625000	7.578125	8.6318	3.10	** **
	Bloques	12.496094	4.165363	4.7445		
	Error	21.070313	0.877930			
	Total	94.191406				
PSB	Trat.	4.359375	0.544922	1.3588	1.23	NS NS
	Bloques	1.453125	0.484375	1.2078		
	Error	9.625000	0.401042			
	Total	15.437500				
CE	Trat.	0.004341	0.000543	0.4670	2.17	NS NS
	Bloques	0.000488	0.000163	0.1401		
	Error	0.027885	0.001162			
	Total	0.032715				
NT	Trat.	878.687500	109.8359	0.8691	12.7	NS **
	Boques	1801.093750	600.3645	4.7506		
	Error	3033.062500	126.3776			
	Total	5712.843750				
PT	Trat.	1643.53125	205.441	0.5676	17.0	NS **
	Bloques	4455.90625	1485.302	4.1035		
	Error	8687.06250	361.960			
	Total	14786.50000				
KT	Trat.	75928.0000	9491.00	1.1761	9.52	NS **
	Bloques	111322.0000	37107.33	4.5982		
	Error	193680.0000	8070.00			
	Total	380930.0000				

Cuadro D.4. ANVA hechos a las variables evaluadas a planta

Var	FV	SC	CM	F	CV	S
MST	Trat.	77799936	9724992.0	1.816	20.8	NS NS
	Bloques	24466944	8155648.0	1.523		
	Error	128484352	5353514.5			
	Total	230751232				
Alt 1	Trat.	19.629395	2.453674	0.381	20.1	NS NS
	Bloques	19.768555	6.589518	1.023		
	Error	154.525391	6.438558			
	Total	193.923340				
Alt 2	Trat.	60.173828	7.521729	0.775	10.5	NS NS
	Bloques	87.199219	29.066406	2.996		
	Error	232.820313	9.700887			
	Total	380.193359				
No.tub planta	Trat.	41.808594	5.226074	0.705	16.5	NS NS
	Bloques	8.981495	2.993815	0.403		
	Error	177.889648	7.412069			
	Total	228.679688				
Diam polar	Trat.	7.899231	0.987404	1.559	15.5	NS NS
	Bloques	0.062317	0.020772	0.032		
	Error	15.194336	0.633097			
	Total	23.155884				
Diam. ec.	Trat.	3.018005	0.377251	1.070	15.0	NS NS
	Bloques	0.247192	0.082397	0.233		
	Error	8.459717	0.352428			
	Total	11.724915				
Rend. total	Trat.	1677.253906	209.65673	1.720	29.2	NS NS
	Bloques	548.898438	182.96614	1.501		
	Error	2924.753906	121.86474			
	Total	5150.906250				
Diam. tallos	Trat.	0.095324	0.011915	1.092	13.8	NS NS
	Bloques	0.067326	0.022442	2.056		
	Error	0.261875	0.010911			
	Total	0.424524				
No. tallos planta	Trat.	6.710205	0.838776	0.672	16.9	NS NS
	Bloques	3.362915	1.120972	0.899		
	Error	29.917969	1.246582			
	Total	39.991089				
No. tallos metro	Trat.	205.283203	25.660400	0.867	20.0	NS NS
	Bloques	48.244141	16.081381	0.543		
	Error	709.876953	29.578207			
	Total	963.404297				

Cuadro D.5. Abreviaciones utilizadas y sus unidades.

<u>Abreviación</u>	<u>Significado</u>	<u>Unidades</u>
Var	Variable	
FV	Fuente de variación	
SC	Suma de cuadrados	
CM	Cuadrado medio	
F	F observada	
CV	Coefficiente de variación	(%)
S	Significación estadística	
Da	Densidad aparente	(g/cm ³)
Ds	Densidad de sólidos	(g/cm ³)
E	Espacio poroso	(%)
CC	Capacidad de campo	(%)
PMP	Punto de marchitez permanente	(%)
MO	Materia orgánica	(%)
pH	Actividad de los iones hidrógeno	
CO ₃	Carbonatos totales	(%)
PSB	Por ciento de saturación de bases	(%)
CE	Conductividad eléctrica	(dS/m)
NT	Nitrógeno total	(kg/ha)
PT	Fósforo total	(kg/ha)
KT	Potasio total	(kg/ha)
MST	Materia seca total	(ton/ha)
Alt 1	Primera medición de altura	(cm)
Alt 2	Segunda medición de altura	(cm)
No.tub. planta	Número de tubérculos planta	
Diam. polar	Diámetro polar	(cm)
Diam. ec.	Diámetro ecuatorial	(cm)
Rend. total	Rendimiento total	(ton/ha)
No. tallos planta	Número de tallos por planta	
No. tallos metro	Número de tallos por metro	