

00359

2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

LEVANTAMIENTO NUTRICIONAL DEL CULTIVO DE MAIZ,
EN LA SUBPROVINCIA GEOGRAFICA DE MIL CUMBRES
CORRESPONDIENTE AL ESTADO DE MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

AREA DE: (EDAFOLOGIA)

P R E S E N T A :

GUILLERMO HERNANDEZ CORTES

DIRECTOR DE TESIS: DR. DAVID FLORES ROMAN

MEXICO, D.F.

JUNIO DEL 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A DIOS

POR DARME LO MEJOR Y MÁS VALIOSO, LA VIDA, TAMBIÉN LA OPORTUNIDAD DE REALIZARME COMO PERSONA Y PROFESIONISTA.

A MIS PADRES

A QUIENES SIN ESCATIMAR ESFUERZO ALGUNO, HAN SACRIFICADO GRAN PARTE DE SU VIDA PARA EDUCARME A QUIENES LA ILUSIÓN DE SU EXISTENCIA HA SIDO CONVERTIRME EN UNA PERSONA DE PROVECHO Y A QUIENES HAN PUESTO EN MIS MANOS LA HERENCIA MAS VALIOSA QUE PUEDA DARSE A UN HIJO GRACIAS LES DOY.

ARNULFO Y GLORIA.

A MI ABUELITA CLARA

DONDE ÉSTES GRACIAS POR ILUMINAR MI CAMINO Y DE TODOS TUS SERES QUERIDOS.

A MI HIJO "AREL GUILLERMO HERNÁNDEZ ORTÍZ"

ERES UN BELLO REGALO DE DIOS, SIEMPRE TE LLEVO EN MI CORAZÓN, TAMBIÉN ÉRES UNO DE MIS GRANDES ALICIENTES PARA SER MEJOR, QUE ESTO SEA UN MOTIVO PARA QUE TE SIENTAS ORGULLOSOS DE MI Y SIEMPRE SALGAS ADELANTE EN TU VIDA.

A MIS HERMANOS

SU APOYO INCONDICIONAL EN ESTA ETAPA DE MI VIDA SERIA MÁS DIFÍCIL DE LOGRAR SIN USTEDES, SU CAMINO ACADÉMICO NO HA TERMINADO SUPÉRENSE AUN MÁS.

A MIS FAMILIARES

DESDE MI NIÑEZ SIEMPRE HE RECIBIDO SU APOYO Y CONSEJOS, EN ESTA OCASIÓN NO HA SIDO LA EXCEPCIÓN Y ESPERO NUNCA LOS DESEPCIONAR; GRACIAS A TODO EL CARIÑO QUE ME HAN BRINDADO.

A MIS AMIGOS

POR QUE DESDE MIS INICIOS USTEDES ME HAN APOYADO, SOPORTADO Y SOLAPADO, A TODOS USTEDES LES HAGO SABER QUE SIEMPRE MI ESTIMACIÓN Y CARIÑO LOS ACOMPAÑARA, GRACIAS POR BRINDARME SU AMISTAD.

UN BIÓLOGO SU CAMINAR CASI NUNCA ES SOLO, POR LO TANTO LAS ÁREAS DE SUELO Y AGUA SE COMBINAN, DE ESTA MANERA TE HAGO SABER MI GRATITUD Y AMOR; EN ESPECIAL A TI **CANDY** POR TU AMISTAD, APOYO QUE ME HAZ BRINDADO Y POR TODO LOS SENTIMIENTOS NACIDOS EN AMBOS.

AGRADECIMIENTOS

A LA **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO** POR DARMÉ LA OPORTUNIDAD DE SEGUIR ADELANTE EN MIS ESTUDIOS Y POR TODA LA FORMACIÓN ACADÉMICA QUE HE LOGRADO.

A **FES "ZARAGOZA"** POR PERMITIRME LABORAR EN SUS INSTALACIONES Y EN ESPECIAL A SU PERSONAL ACADÉMICO, TÉCNICO Y ADMINISTRATIVO DE LA CARRERA DE BIOLOGÍA.

A LA **FACULTAD DE CIENCIAS** POR ACEPTARME Y PERMITIR REALIZAR MI POSTGRADO.

A MI PAÍS, PRINCIPALMENTE AL PUEBLO DE MÉXICO QUE POR MEDIO DE **CONACYT** ME PERMITIÓ INICIAR Y TERMINAR MIS ESTUDIOS DE POSTGRADO CON EL APOYO DE UNA BECA OTORGADA POR EL DEPARTAMENTO DE PROGRAMA DE BECAS PERTENECIENTE A LA FACULTAD DE CIENCIAS-UNAM.

SEDAGRO (REGION VALLE DE BRAVO) POR APOYAR ADMINISTRATIVAMENTE Y EN CAMPO, PRINCIPALMENTE EN LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO Y TEJIDO VEGETAL.

A MI SINODALES.

DR. DAVID FLORES ROMAN.

M. en C. GERARDO CRUZ FLORES.

DR. TRINIDAD SANTOS.

DR. GABRIEL ALCANTAR.

M. en C. MIGUEL ANGEL VALERA PEREZ.

M en C. MIGUEL OLGUIN.

DR. OTILIO SANDOVAL.

POR SUS VALIOSOS COMENTARIOS Y OBSERVACIONES QUE MEJORARON LA CALIDAD DE ESTE TRABAJO CON RELEVANTE PARTICIPACIÓN DEL **DR. DAVID FLORES ROMAN** POR ESA MOTIVACIÓN Y ASESORIA QUE MOSTRO EN LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

AL LABORATORIO DE EDAFOLOGIA Y NUTRICIÓN VEGETAL "FES ZARAGOZA" POR BRINDAR UN SITIO DONDE SE PROCESARÁN LAS MUESTRAS DE SUELO Y TEJIDO VEGETAL APOYANDO CON REACTIVOS, EQUIPO Y TRANSPORTE; A LOS BIÓLOGOS QUE PERTENECEN A ESTE LABORATORIO POR APOYAR EN LA REALIZACIÓN Y TERMINACIÓN, EN ESPECIAL AL RESPONSABLE DEL LABORATORIO **M. En C. GERARDO CRUZ FLORES** POR DEPOSITAR EN MI SU CONFIANZA, SU VALIOSO ASESORAMIENTO, APOYO Y PRINCIPALMENTE POR SER UNO DE MIS MEJORES AMIGOS.

LAS LECTURAS DE LAS MUESTRAS EN ABSORCIÓN ATÓMICA SE REALIZARON EN EL INSTITUTO DE GEOLOGÍA UNAM. A CARGO DE LA **M en C. LOURDES FLORES DELGADILLO** Y EN LA FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ZARAGOZA" LO REALIZÓ LA **BIOL. MARISELA ARTEAGA MEJÍA**, POR LO QUE HAGO UN RECONOCIMIENTO POR LA REALIZACIÓN DE ESTAS MEDICIONES.

BIOL. EDUARDO MOLINA GAYOSSO, POR SU PARTICIPACIÓN EN EL PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO.

BIOL. ARACELI BAUTISTA, POR PARTICIPAR EN EL PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE TEJIDO VEGETAL.

BIOL. CANDELARIA LOPEZ GONZALEZ, POR SUS ATINADOS COMENTARIOS QUE AYUDARON A MEJORAR LA CALIDAD DE ESTA TESIS.

BIOL. AIDA ZAPATA CRUZ.

Q.F.I. MARIA DE LA LUZ LOPEZ MARTINEZ, TÉCNICOS Y LABORATORISTAS.
POR FACILITAR DE MANERA INCONDICIONAL Y SIN PONER RESTRICCIONES EN TODOS LOS INSUMOS PARA EFECTUAR ESTA TESIS.

A LAS SECRETARIAS
LULU Y LIDIA

A TODOS LOS ACADEMICOS QUE ME OFRECIERON SUS CONOCIMIENTOS DESDE MIS INICIOS HASTA ESTOS DÍAS.

A TODAS LAS EMPRESAS QUE ME HAN DADO LA OPORTUNIDAD DE LABORAR Y ADQUIRIR LA EXPERIENCIA PARA DESARROLLARME COMO PROFESIONISTA, HASTA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS.

DUNA S. A. DE C. V
ALCARO JARDINES S. A. DE C. V
COMERCIALIZADORA PLAFOR S. A. DE C. V
ING. JOAQUIN GUTIERREZ UGALDE S. A. DE C. V
CON UN RECONOCIMIENTO ESPECIAL A ARLU S. A. DE C. V.

**CON MIS MÁS SINCEROS AGRADECIMIENTOS
A TODOS USTEDES DE SU SERVIDOR.**

GUILLERMO HERNANDEZ CORTES.

INDICE		PAG.
Resumen.....		1
Introducción.....		3
Revisión Bibliográfica.....		5
Levantamiento Nutricional.....		5
Análisis químico de Suelo.....		6
Análisis químico de Planta.....		6
Sistema Integrado de Diagnostico y Recomendación.....		7
Diagnóstico Óptimo Porcentual.....		8
Nutrimentos.....		9
Maíz.....		9
Clasificación Taxonómica.....		9
Ecología del Maíz.....		10
Factores de crecimiento.....		10
Luz.....		10
Temperatura.....		10
Altitud.....		14
Latitud.....		14
Suelos utilizados para el maíz.....		16
Humedad.....		16
Practicas de Cultivo.....		16
Fertilización de maíz.....		16
Siembra del Maíz.....		17
Cosecha del Maíz.....		17
Utilización e Importancia del Maíz.....		18
Características Generales del Suelo.....		19
Acidez del suelo.....		19
Efecto de Acidez sobre las Plantas.....		21
Unidades Taxonómicas de Suelo.....		21
Acrisoles.....		21
Características Generales.....		21
Leptosoles.....		22
Características Generales.....		22
Feozems.....		22
Características Generales.....		22
Características Particulares.....		22
Utilización.....		22
Vertisol.....		22
Características Generales.....		22
Andosol.....		22
Génesis de los Andosoles.....		23
Antecedentes de Clasificación.....		24
Característica por parte de la FAO.....		25
Características Generales.....		25
Sistema USDA (Propuesta por ICOMAND).....		25
Propiedades.....		27
Físicas.....		27
Químicas.....		27
Biológicas.....		27
Problema de Abastecimiento Nutricional.....		28
Justificación.....		29
Objetivo General.....		30
Objetivos Particulares.....		30

INDICE		PAG.
Zona de estudios.....		31
Localización Geográfica.....		31
Limites Geográficos.....		31
Descripción de la Zona de Estudio.....		31
Características Geológicas.....		31
Características Edafológicas.....		31
Características Orográficas y Geomorfológicas.....		31
Vegetación.....		32
Características Hidrológicas.....		32
Características Climáticas.....		32
Clima Subhúmedo.....		32
Clima Semifrío.....		32
Uso de los Recursos Naturales.....		32
Uso Actual de Suelo.....		32
Posibilidad de Uso Agrícola.....		34
Pecuario y Forestal del Suelo.....		34
Hipótesis.....		35
Material y Métodos.....		36
Características específicas de Muestreo.....		36
Análisis de Suelo.....		36
Análisis de planta.....		37
Resultados.....		41
Propiedades químicas de Suelo.....		41
Conductividad Eléctrica.....		41
pH.....		41
Capacidad de Intercambio Catiónico.....		45
Calcio.....		47
Magnesio.....		48
Acidez hidrolítica.....		49
Potasio.....		50
Fósforo.....		53
Retención de Fósforo.....		53
Aluminio.....		56
Materia Orgánica.....		59
Nitrógeno.....		59
Microelementos.....		62
Cobre.....		62
Zinc.....		62
Fierro.....		64
Manganeso.....		64
Tejido Vegetal.....		66
Nitrógeno.....		67
Fósforo.....		68
Potasio.....		69
Calcio y Magnesio.....		71
Microelementos.....		73
Hierro y Manganeso.....		73
Cobre.....		74
Zinc.....		75
Balance Nutricional.....		75
Relaciones Macronutrientes-Macronutriente.....		75
Nitrógeno-Fósforo.....		76
Nitrógeno-Potasio.....		77

INDICE		PAG.
	Nitrógeno-Calcio, Nitrógeno-Magnesio.....	78
	Potasio-Fósforo.....	78
	Potasio-Calcio.....	79
	Fósforo-Calcio.....	79
	Fósforo-Magnesio.....	80
	Calcio-Magnesio.....	80
	Relaciones Macronutriente-Micronutriente.....	80
	Fósforo-Zinc.....	80
	Relaciones Micronutriente-Micronutriente.....	81
	Hierro-Manganeso.....	81
	Hierro-Cobre.....	81
	Hierro-Zinc.....	81
	Zinc-Cobre.....	81
	Diagnóstico óptimo porcentual (DOP).....	83
	Relación de nutrientes disponibles del suelo y absorbidos por la planta de maíz.	86
	Nitrógeno.....	86
	Fósforo.....	87
	Calcio y Magnesio.....	88
	Potasio.....	89
	Micronutrientes (Fe, Zn, Cu y Mn).	90
	Correlaciones de propiedades químicas de suelo y nutrientes analizados en maíz.	92
	Conclusiones.....	105
	Consideraciones Finales.....	107
	Literatura Citada.....	110

INDICE DE CUADROS

No.	TITULO	Pag.
1	Funciones y deficiencias de los macronutrientes primarios constituyentes de las plantas superiores.....	11
2	Funciones y deficiencias de los macronutrientes secundarios constituyentes de las plantas superiores.....	12
3-a	Funciones y deficiencias de los macronutrientes constituyentes de las plantas superiores.....	13
3-b	Funciones y deficiencias de los macronutrientes primarios constituyentes de las plantas superiores.....	14
4	Temperatura óptimas, mínima y máxima en el periodo de crecimiento del maíz.....	14
5	Componentes básicos del grano de maíz en porcentaje medio, en peso de materia seca.....	18
6	Porcentaje medio de los nutrientes contenidos en el grano de maíz.....	19
7	Número, distribución y representación del muestreo de suelo y tejido vegetal (hoja opuesta a la mazorca durante la etapa de floración femenina (jilote).....	37
8	Clases nutrimentales del maíz establecidos para las concentraciones de los elementos en la hoja opuesta a la mazorca, durante el inicio de la floración femenina (jilote) (citado por Etchevers <i>et al.</i> , 1985).....	40
9	Valores medios, mínimos, máximos, desviación estándar y nivel de intervalos en las muestras de suelo de la Subprovincia de Mil Cumbres, Estado de México.....	42
10	Nivel de acidez aproximado para los suelos de los municipios del Estado en la región de la Subprovincia geográfica de Mil Cumbres.....	43
11	Nivel de acidez para las diferentes unidades de suelo presentes en la Subprovincia de Mil Cumbres.....	44
12	Clasificación de los suelos de acuerdo a la capacidad de intercambio catiónica por municipio en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres.....	45
13	Clasificación del contenido de calcio en los suelos por municipio en la Subprovincia de Mil Cumbres.	46
14	Clasificación y contenido de calcio por unidad de suelo en cada municipio en la Subprovincia de Mil Cumbres.	48
15	Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto a su contenido de Magnesio.	49
16	Clasificación de los suelos analizados en cada municipio y unidad de suelo respecto a su contenido de magnesio la Subprovincia de Mil Cumbres.	50
17	Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto a su contenido de Potasio.	51
18	Clasificación de los suelos analizados en cada municipio y unidad de suelo respecto a su contenido de Potasio la Subprovincia de Mil Cumbres.	52
19	Relación entre retención Fósforo, Fósforo disponible (Olsen) y Aluminio disponible para cada unidad de suelo en los diferentes municipios.....	55

No.	TITULO	Pag.
20	Clasificación de los diferentes niveles de aluminio para los suelos analizados de cada municipio en la Subprovincia de Mil Cumbres.....	57
21	Clasificación de los diferentes niveles de materia orgánica en los municipios de la zona.....	60
22	Clasificación de los suelos analizados para nitrógeno en la Subprovincia de Mil Cumbres correspondientes al Estado de México.	61
23	Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto al contenido de Cobre en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres Correspondientes al Estado de México.	63
24	Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto al contenido de Zinc en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres Correspondientes al Estado de México.	64
25	Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto al contenido de Fierro en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres, Estado de México.	65
26	Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto al contenido de Manganeso en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres Correspondientes al Estado de México.	66
27	Medias, intervalos y desviaciones estándar de las concentraciones nutrimentales en muestras de hoja de maíz opuestas al jilote durante la formación de este en el periodo de 1995, en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.	66
28	Media de la concentración nutrimental de hoja de maíz opuesta al jilote durante la formación de este, para cada municipio de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México durante ciclo agrícola 1995.	67
29	Porcentaje de plantaciones de maíz para cada nivel nutricional en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres Correspondiente al Estado de México.	69
30	Medias de concentraciones nutrimentales de hoja de maíz opuesta al jilote durante la formación de este. En la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México, colectada durante ciclo agrícola de 1995.....	70
31	Porcentaje de plantaciones de maíz de cada nivel nutricional en los Andisoles de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.....	71
32	Porcentaje de plantaciones de maíz de cada nivel nutricional en los Acrisoles de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.....	72
33	Porcentaje de plantaciones de maíz de cada nivel nutricional en los Feozem de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.....	73
34	Porcentaje de plantaciones de maíz de cada nivel nutricional en los Vertisoles de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.....	74
35	Relaciones nutrimentales para cada elemento en la hoja opuesta a la mazorca (jilote) en la etapa de floración en los municipios y unidades de suelos en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres Correspondiente al Estado de México.....	77
36	Relaciones nutrimentales para cada elemento en la hoja opuesta a la mazorca (jilote) en la etapa de floración en los municipios y unidades de suelos de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres Correspondiente al Estado de México.....	82

No.	TITULO	Pag.
37	Indices (DOP) y orden de requerimiento nutrimental en maíz en algunos municipios pertenecientes a la Subprovincia de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.....	84
38	Indices (DOP) y orden de requerimiento nutrimental en maíz en suelos presentes en la Subprovincia de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.....	84
39	Extracción de la planta de maíz de nutrimentos, en la época de floración femenina (jilote) y disponible del suelo para el cultivo en cada uno de los municipios de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres Estado de México.....	90
40	Extracción de nutrimento en la época de floración femenina (jilote) y disponible del suelo para el cultivo en cada uno de las unidades de suelo.....	91
41	Correlaciones más significativas de las características químicas de suelo en la Subprovincia geográfica de Mil Cumbres Estado de México.....	93
42	Correlaciones de los elementos analizados en maíz en la Subprovincia geográfica de Mil Cumbres, Estado de México.....	94
43	Correlaciones más significativas entre nutrimentos analizados en maíz y propiedades químicas de suelo en la Subprovincia Fisiográfica de Mil Cumbres, Estado de México.	94
44	Valores máximos, mínimos y promedio de pH y acidez hidrolítica de los municipios del Estado de México, ubicados en la Subprovincia Fisiográfica de Mil Cumbres.....	108
45	Requerimientos de cal agrícola determinados mediante el método de acidez hidrolítica en los municipios del Estado de México ubicados en la Subprovincia Fisiográfica Mil Cumbres.	108
46	Coefficientes de correlación y ecuación de regresión por municipio en la zona de estudio.....	108

Fig.	INDICE DE FIGURAS	Pag.
1	Sintomatología de las deficiencias nutrimentales de maíz.....	15
2	Utilización del maíz.....	20
3	Características climáticas de Villa Victoria, Estado de México.....	33
4	Precipitación en el municipio de Villa de Allende, Estado de México.....	33
5	Climatograma del municipio de Valle de Bravo, Estado de México.....	34
6	Muestreo de la Hoja opuesta a la mazorca en la etapa de (jilote).....	39
7	Relación de requerimiento por el método (DOP) para la Subprovincia geográfica de Mil Cumbres, correspondiente al Estado de México.....	85

Mapa.	INDICE DE MAPAS	Pag.
1	Localización y Ubicación de las Muestras.....	38
2	Levantamiento Nutricional del Nitrógeno.....	96
3	Levantamiento Nutricional del Fósforo.....	97
4	Levantamiento Nutricional del Potasio.....	98
5	Levantamiento Nutricional del Calcio.....	99
6	Levantamiento Nutricional del Magnesio.....	100
7	Levantamiento Nutricional del Cobre	101
8	Levantamiento Nutricional del Zinc.....	102
9	Levantamiento Nutricional del Hierro.....	103
10	Levantamiento Nutricional del Manganeso.....	104

RESUMEN

En la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres del Estado de México, la producción agrícola es importante dentro de las actividades económicas de la región, con una superficie cultivada 70, 065.0 ha de temporal y riego. Los principales cultivos son maíz (93%), papa (3.1%), avena forrajera, trigo, frijol y pastos mejorados. Las diferentes unidades de suelo que se utilizan en la agricultura son: Andosol, Acrisol, Vertisol, Feozem y Leptosol. En esta zona se realizó, para el cultivo de maíz, un levantamiento nutricional (inventario del estado nutrimental de una especie dada en una zona determinada). Los inventarios nutricionales tienen como herramientas importantes el análisis químico de suelo y plantas; técnica que permite localizar áreas con diferente suministro de nutrimentos para los cultivos.

Se seleccionaron aleatoriamente 143 sitios en parcelas de cultivo con maíz. De la capa arable a 30 cm de profundidad se tomaron entre 15-20 submuestras de suelo en zig-zag para formar muestras compuestas. Durante la época de floración femenina que comprende los meses de agosto y septiembre, se tomo muestras en diversas plantas entre 15 y 25 hojas opuestas al nudo inferior de la floración en las mismas parcelas donde se tomó muestra de suelo. En el tejido se determinaron los siguientes nutrimentos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, zinc, hierro y manganeso, estos se agruparon en cuatro clases: deficiente, baja, suficiente y alta. Con ello se calcularon relaciones nutrimentales, se ordenaron por municipio, y por unidad de suelo, por el método del diagnóstico óptimo porcentual (DOP). Se efectuaron los siguientes análisis de laboratorio al suelo: C.E. pH (H_2O y $CaCl_2$, relación 1:2.5), retención de fósforo, aluminio intercambiable, CICT, materia orgánica, nitrógeno total, acidez hidrolítica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, zinc, hierro y manganeso.

Los suelos de la Subprovincia son de origen volcánico y fluctúan de moderadamente a fuertemente ácidos (5.67), el aluminio extractable es alto (149.2 ppm), con estas características el fósforo es fijado en el complejo arcilloso, por lo que se presentan concentraciones bajas de fósforo disponible para los cultivos (13.38 ppm). Particularmente en Andisoles la fijación del fósforo es alta (60.88 %). Al relacionar la concentración de calcio (7.20 cmol/Kg) y magnesio (3.29 cmol/Kg), que se ubica en nivel moderadamente-deficiente, al relacionar con la acidez hidrolítica de (0.944 meq. H^+ /100 g de suelo) y aluminio (149.2 ppm) se sugieren encalados de 0.5 a 2.0 tn/ha. El alto porcentaje de materia orgánica (6.8 %), hace pensar en una buena disponibilidad de nutrimentos, pero al relacionarlo con el nitrógeno total (0.286 %), estas características se comportan de manera semejante, sin embargo la disponibilidad del suelo para la planta en cuanto a nitrógeno es baja, lo cual demuestra la limitada mineralización por los microorganismos, debido a la formación de compuestos organo-minerales, que favorecen la humificación de la materia orgánica. El potasio se encontró con un nivel adecuado en toda la zona de estudio con una media de (315 ppm), en cuanto a los micronutrimentos en suelo no hubo deficiencia para hierro, cobre, zinc y manganeso y tampoco se presentaron problemas de toxicidad.

Las condiciones edafológicas de la zona dan como resultado un estado nutrimental con niveles bajos en nitrógeno, para todas las unidades estudiadas con una media de (2.35%). Las causas de acidez de los suelos origina bajo suministro de calcio (0.2811%), magnesio (0.1659%) y fósforo (0.2553%) para la planta, los cuales se ubican en niveles nutrimentales bajo y suficiente. El potasio se ubica en

el nivel de suficiencia (2.003%) y los micronutrientes como: cobre (15.7 ppm), zinc (87.26 ppm), hierro (264.51 ppm) y manganeso (59.77 ppm) se ubican en nivel suficiente y alto sin llegar a niveles de toxicidad. El análisis de los balances nutrimentales de maíz muestra que la relación N/P (7.46) para el municipio de Amanalco influye en los altos rendimientos de la zona, las relaciones N/Mg, K/Mg y P/Mg contribuyen posiblemente a los bajos rendimientos de la zona. En el balance P/Zn hay indicios de antagonismo pues cuando la relación aumenta entre 43.4 y 52.0 los rendimientos de maíz son menores que aquellos en los que la relación es menor de 40 presente esta última en los municipios de Villa Victoria y Villa de Allende. Las relaciones de micronutrientes no presentan ningún problema, ya que se encuentran en cantidades adecuadas en suelo y planta.

El Método del Diagnóstico Óptimo Porcentual (DOP) determinó que el orden de requerimiento de los macronutrientes es como se describe a continuación $Mg > P = N = Ca > K$, obteniendo la secuencia de nutrientes que limitan el rendimiento de maíz, en la zona.

De las unidades de suelos analizados en la región que son utilizados para la agricultura son: Vertisoles, Acrisoles Feozems, Leptosoles y Andosoles, este último es el tipo que aun cuando sus características químicas y mineralógicas no son muy aptas para el maíz, en estos se obtienen los mayores rendimientos del cultivo.

Con el levantamiento nutricional se detectaron áreas nutrimentales en mapas cartográficos de los nutrientes analizados en maíz durante la etapa de jilote, en la Subprovincia de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.

INTRODUCCIÓN

La Subprovincia de Mil Cumbres, correspondiente al Estado de México, abarca los Municipios de Villa de Allende, Villa Victoria, Amanalco, Donato Guerra y Valle de Bravo. Esta lleva el nombre tradicional de su extremo Oeste, que es sobre el trayecto de la ruta Morelia-Zitácuaro, se trata de una región accidentada y complicada debido a la diversidad de sus geofomas, que descienden hacia el sur y esta abarca sierras volcánicas complejas, gracias a la variedad de sus antiguos aparatos volcánicos (INEGI, 1989).

En la Subprovincia de Mil Cumbres, la actividad agrícola asume gran importancia económica, el cultivo de maíz es relevante, por que es una fuente destacada de ingresos para la mayoría de los campesinos de la región. El 94% de la superficie sembrada en el ámbito de la Coordinación Regional de Valle de Bravo se cultivó con maíz (65,422 ha) en el ciclo primavera-verano 1995, principalmente bajo condiciones de temporal, destinado a la producción de grano. El 60% de la superficie total cultivable en la zona se encuentra en los municipios de Villa Victoria y Villa de Allende (SEDAGRO, 1995). De los rendimientos obtenidos que comprenden los municipios en estudio, se obtuvo que la producción media regional próxima es de 3,500.00 kg/ha. El destino de la producción es para autoconsumo y el comercio regional. La tecnología aplicada varía de acuerdo a las características fisiográficas del lugar, desde mecanizada cuando se tienen terrenos con pendientes suaves, y en pendientes mayores del 15% se efectúa con tracción animal o manualmente. La utilización de la semilla criolla se debe a su éxito en su adaptación a condiciones climáticas y edáficas, estas características dificultan la adaptación de los híbridos que aun así se utilizan con fines de producción de grano (SEDAGRO, 1995).

Con base en mapas de suelos publicados por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), se presentan áreas cubierta con suelos ácidos en casi toda la parte Sur de México. Se reporta que el área bajo cultivo, con suelos ácidos es aproximadamente el 14% de la superficie total bajo cultivo en México (INEGI 1989).

Del total de la superficie cultivada con maíz en esta zona, aproximadamente el 72.25% del suelo utilizado corresponde al tipo de Ando (INEGI, 1989). Los Andosoles son representativos en los estados de Durango, Nayarit, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Estado de México, Morelos Veracruz y Puebla lo que suma en total 7.3 millones de hectáreas (Ortiz *et al.*, 1993).

Los Andisoles presentan problemas de fijación excesiva de fósforo, siendo parte por materiales amorfos como alófanos, que por su naturaleza pueden fijar aniones, se forman complejos con los ácidos orgánicos, así se evita su descomposición, dando una acumulación de materia orgánica, por lo tanto no se da la liberación de elementos nutritivos que la conforman y que pueden ser aprovechables por los cultivos (Torres, 1987).

Las técnicas de diagnóstico, en las que se incluye la identificación de los síntomas por deficiencias nutrimentales mediante evaluaciones de suelos y plantas, constituyen una gran ayuda para determinar el momento en que es necesario un abonado. Las elecciones de las proporciones adecuadas de los nutrimentos para las plantas dependen de los conocimientos que se tengan y de los

requerimientos de nutrimentos por parte de la especie vegetal y de la riqueza natural del suelo en el cual debe crecer el cultivo (Tisdale *et al.*, 1985).

La práctica del análisis foliar para conocer la concentración de nutrimentos de las plantas provee una visión del estado nutricional de un cultivo y puede ayudar en la elaboración de recomendaciones de dosis de fertilizantes. Una forma de interpretar tales análisis es comparar los datos obtenidos con valores de referencia (Concentraciones críticas o intervalos de suficiencia). Esta forma de realizar un diagnóstico sólo puede demostrar una deficiencia a la vez y no considera el balance nutricional. Además esta técnica es afectada por diversas variables, tales como el tipo y edad de la hoja analizada (Zarate, 1986).

Al inventario del estado nutricional de una especie dada en una zona determinada se le denomina levantamiento nutricional. Esta técnica permite localizar áreas con diferente suministro de nutrimentos para los cultivos. Con el empleo adecuado de esta técnica se pueden localizar áreas con deficiente abastecimiento de nutrimentos y en consecuencia orientar al diseño o experimentos apropiados para la generación de tecnologías sobre uso y manejo de fertilizantes (Etchevers *et al.*, 1985).

El inventario nutricional tiene como herramienta importante el análisis químico de suelo y planta, las ventajas del análisis químico sobre otros métodos consisten en: manejo adecuado de grandes volúmenes de muestras en menor tiempo, tiene la capacidad cuando estén propiamente calibradas a determinar las necesidades del cultivo antes de que este sea establecido. Por sí solo el análisis de fertilidad proporciona información valiosa acerca del estado nutricional del cultivo, la eficiencia del levantamiento nutricional es mayor cuando se complementa con observaciones de sintomatología visual (Cruz, 1993 y Etchevers *et al.*, 1985). El análisis foliar, en conjunto con los valores críticos reportados en la literatura permite diagnosticar el estado nutricional de los cultivos entre ellos el maíz (Goodall y Gregory 1974; Lundergarh, 1951, citado por Etchevers *et al.*, 1985). Para lograr un diagnóstico del estado nutricional de los cultivos es necesario recurrir, entre otros a las técnicas del análisis químico de suelos, ya que estas constituyen la base medular del proceso de evaluación de fertilidad.

Históricamente el incremento de las cosechas ha tenido como base el empleo de nutrimentos aplicado al suelo en forma de abonos y fertilizantes. Por lo anterior, es importante establecer el estado actual de fertilidad del suelo en esta zona, con objeto de hacer más rentable la producción de maíz.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

LEVANTAMIENTO NUTRICIONAL

Al inventario del estado nutricional de una especie dada en una zona determinada se le denomina "Levantamiento Nutricional" (Etchevers, *et al.*, 1985).

En la Sierra Tarasca, se observó que el 100% de las parcelas estudiadas, las plantas presentaron niveles bajos o deficientes de nitrógeno, azufre, zinc y magnesio; el 87% del área presentó contenidos bajos de fósforo, calcio, cobre y solamente los niveles de potasio, manganeso y fierro estaban en concentraciones consideradas como suficientes. Se relacionaron las características químicas de los suelos en niveles de macro y micronutrientes de las plantaciones de maíz, representativos de la zona y aunque tuvieron asociaciones de baja significancia lograron establecer que existe un problema nutricional grave en el maíz y una prioridad en los problemas nutricionales en la Sierra Tarasca (Etchevers *et al.*, 1985).

Cazares (1988) realizó una evaluación del estado nutricional de los alfalfares del Valle de México en ellos destacó niveles deficientes y altos en los nutrientes de las plantas y del suelo. El levantamiento nutricional dio como resultado al analizar los tallos de la alfalfa, se detectó niveles deficitarios de nitrógeno, fósforo y magnesio, suficientes en calcio y potasio, estos resultados se deben a la fertilidad de los suelos donde se cultiva la alfalfa.

Zarate (1991) evaluó la fertilidad de los suelos de pradera en la región de Teziutlan, Puebla, se determinó la fertilidad de los suelos, mediante la técnica del elemento faltante, se encontró que el fósforo fue, en un inicio de mediana a severamente deficiente en el 83% de los suelos estudiados, el siguiente nutriente de importancia fue el calcio con 62% de estos fueron carentes de este nutriente. El azufre y los micronutrientes se consideraron medianamente deficientes en un 21 y 10% en las parcelas respectivamente. La ausencia de potasio y magnesio no restringió la producción, lo cual indica que no hay problema de abastecimiento de estos nutrientes por el suelo.

Noriega (1988) definió el estado nutricional de los cafetales de la región del plan de Zacapoaxtla, Puebla; e hizo el diagnóstico de la absorción de nutrientes en la composición vegetal y del suelo. El levantamiento nutricional demostró que las mayorías de las parcelas exhibieron niveles normales a altos de nitrógeno, fósforo y calcio. El 90% de estas presentaron deficiencias de potasio y en gran parte las parcelas se detectaron niveles bajos de magnesio.

García y Hernández (1994) observaron que en los suelos de Ando del municipio de Villa de Allende Estado de México, éstos presentan una alta retención de fósforo, baja disponibilidad de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio), altos contenidos de materia orgánica con bajas tasas de mineralización, que dan como consecuencia, problemas de abastecimiento nutricional para el cultivo de maíz, principalmente en magnesio, calcio, fósforo y nitrógeno, así mismo, se delimitaron áreas con diversos grados de suministros de nutrientes para el cultivo de maíz en el municipio.

ANÁLISIS DE SUELO

La utilización del análisis químico de suelo y planta, para determinar las necesidades de fertilizantes en los suelos, data desde 1884, cuando Liebig hizo publicaciones al respecto. Desde hace tiempo a la fecha, se ha progresado en el logro de técnicas químicas para el estudio de la fertilidad del suelo con respecto a diferentes nutrimentos. (Tisdale, 1985 Melsted y Peck, 1973), señalaron que el estado nutricional de un suelo, puede ser evaluado mediante experimentos de campo en el análisis de plantas, de savia, de suelo, a través de pruebas biológicas y/o por sintomatología visual de los cultivos.

Se han realizado muchos trabajos sobre análisis del suelo y otras técnicas, que han puesto en evidencia un progreso gradual en los métodos para determinar el grado de fertilidad de los suelos. Las diversas técnicas empleadas comúnmente que dan una identificación del grado de fertilidad de un suelo son:

1. Síntomas por deficiencia de nutrimentos de las plantas.
2. Análisis de los tejidos de las plantas que crecen en los suelos.
3. Evaluaciones biológicas del crecimiento de las plantas superiores o de ciertos microorganismos, se usan como una medida de la fertilidad del suelo.
4. Evaluación química de suelos. (Tisdale *et al.*, 1985)

ANÁLISIS QUÍMICO DE PLANTA

El conocimiento de una dinámica nutrimental integral del sistema suelo-planta-ambiente, permite definir con mayor precisión los problemas nutricionales. Según Pech (1945), la predicción de los requerimientos nutrimentales de las plantas ha sido objeto de estudios desde hace muchos años, producto de esa investigación es que se ha generado métodos predictivos del estado de fertilidad del suelo.

La nutrición adecuada de una planta requiere que la dosis y oportunidad de fertilización sea acorde a las necesidades de cultivo en particular lo cual permite obtener la máxima eficiencia por unidad de fertilizante aplicado. El análisis foliar es una herramienta útil para lograrlo debido a que la planta refleja en forma integral la influencia de factores físicos, químicos, biológicos y climáticos que afectan la nutrición mineral de los cultivos (Alvarez, 1989).

Etchevers *et al.*, (1985) señalaron que desde el punto de vista agronómico los principales motivos y objetivos para realizar este tipo de análisis son para satisfacer las demandas de información requerida para el manejo y mejoramiento de los suelos, además de evaluar el estado de fertilidad de los mismos y recomendar fertilizantes.

Una gran cantidad de investigadores han trabajado exhaustivamente sobre el concepto nivel crítico, de tal forma se ha derivado una serie de definiciones inherentes al mismo, pero con diferente punto de vista y de las cuales se presentan las siguientes:

1. Aquella concentración nutrimental que es apenas deficiente para el máximo rendimiento (Macy, 1936).
2. Aquella concentración que separa la zona deficiente de la zona de suficiencia (Walliham, citado por Ulrich, 1952).
3. Aquella concentración nutrimental de una muestra vegetal, por debajo de la cual la tasa de crecimiento, el rendimiento ó la calidad decrecen significativamente (Melsted *et al.*, 1969; Munson y Nelson, 1973; citado por Smith, 1986).
4. Aquella concentración nutrimental existente en el órgano analizado para dar un 95% del rendimiento máximo bajo esas condiciones (Etchevers *et al.*, 1985; Kelling *et al.*, 1983; Sumner, 1979).

Sin embargo, resulta difícil determinar una concentración nutrimental específica para cada cultivo, debido fundamentalmente a que factores tales como: el desarrollo vegetal, la edad del tejido, los cambios estacionales, la interacción nutrimental, el medio ambiente, el órgano de muestreo, la fracción nutrimental medida, la humedad disponible, sinergismos y antagonismos etc., influyen sobre la concentración de un elemento dado (Bates, 1971; Smith, 1962; Tisdale *et al.*, 1985).

De aquí se ha derivado el interés de establecer otro tipo de criterio interpretativo más realista y/o flexible, que permita evaluar el estado nutrimental de los cultivos adecuadamente.

Se ha demostrado que resulta más práctico trabajar con intervalos de concentraciones nutrimentales que con niveles críticos. La magnitud de los intervalos depende en mayor grado de la extensión de nuestro conocimiento y los límites de estos pueden ser determinados gráficamente o mediante métodos estadísticos apropiados. A mayor cantidad de información concerniente a la relación entre los niveles del nutriente en un determinado cultivo y su rendimiento, mayor será la confiabilidad de los límites del intervalo establecido (Dow y Roberts, 1982).

Los intervalos críticos nutrimentales, han sido definidos como aquellas concentraciones nutrimentales presentes en un estado fisiológico específico, arriba del cual se considera que el cultivo está ampliamente suplementado y debajo del cual se puede considerar que se encuentra deficiente (Dow y Roberts 1982; Sumner, 1979; Tisdale *et al.*, 1985).

SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIÓN.

El sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS), desarrollado por Beaufils (1973), inicialmente para *Hevea brasiliensis* y aplicado con buenos resultados en otros cultivos como papa (Meldal-Johnsen y Sumner, 1980), soya (Sumner, 1977c), sorgo (Sumner, 1977), maíz (Sumner 1977b), caña de azúcar (Beaufils y Sumner, 1976), entre otros, representa un adelanto en el estudio de la nutrición mineral de los cultivos.

El DRIS es un esquema particular de diagnóstico fisiológico experimental, que tiene como base una acumulación sistemática de parámetros involucrados directa o indirectamente con el rendimiento a través de la respuesta fisiológica vegetal (Beaufils, 1973). Integra una serie de normas que

representan calibraciones de la composición de tejido vegetal, la composición del suelo, los parámetros del medio y las prácticas agrícolas, como funciones del cultivo en particular. Una vez derivadas las normas DRIS, es posible realizar el diagnóstico nutrimental de un cultivo en particular, al considerar algunos factores (composición de tejido vegetal, prácticas agrícolas etc.) que puedan limitar el crecimiento, la producción y que al ser optimizados, incrementan las posibilidades de obtener mayores rendimientos y calidad de los productos (Sumner 1977b).

El DRIS representa una serie de ventajas sobre los criterios de interpretación antes señalados, los cuales son:

1. Ordenar los requerimientos, en términos de su importancia limitativa sobre el rendimiento.
2. Considera prioritario el balance nutrimental.
3. A través de los índices, muestra la intensidad relativa de insuficiencia o exceso.
4. Una vez determinadas las normas, tienen aplicación universal.

El diagnóstico puede realizarse, indistintamente de la variedad, edad del tejido o posición del órgano vegetal (Sumner, 1977).

Para el establecimiento de la norma DRIS se requiere de una base de datos del área de distribución del cultivo de interés, se selecciona aleatoriamente una gran cantidad de sitios. En cada sitio se toman muestras de suelo y planta para el análisis de todos los elementos esenciales. La población completa de observaciones se divide en dos subpoblaciones (bajo y alto rendimiento) de acuerdo al vigor, calidad y rendimiento. Cada elemento en la planta se expresa en una base de datos de tantas formas como sea posible (porcentaje, cocientes, entre elementos, productos entre elementos, etc.). Se calcula la media para cada tipo de expresión y cada subpoblación, se seleccionan las formas de expresión que discriminen significativamente entre las dos subpoblaciones, siendo las formas de diagnóstico de las medias de cada una de esas formas (Tisdale, 1985).

El método de porcentaje de suficiencia nutrimental (PSN) es ejecutable con alta precisión como el DRIS, para el diagnóstico nutrimental, para la inclusión en la identificación de deficiencias de nutrimentos para el crecimiento de cultivos. En Colorado, fue recomendado el (PSN) aprovechando la combinación de los análisis de suelo determinados, se cuantificó los diagnósticos en Zn y Cu como deficientes y nitrógeno como excesivamente deficiente (Soltanpour *et al.*, 1995).

METODO DEL DIAGNOSTICO OPTIMO PORCENTUAL (DOP)

El Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI) que puede realizarse e indistintamente de la variedad, edad del tejido u órgano vegetal (Sumner, 1979). Para el establecimiento de la norma DDI se requiere de una base de datos del área de distribución del cultivo de interés, se seleccionan aleatoriamente una gran cantidad de sitios, en cada uno se toman muestra de suelo y planta, se analizan los elementos esenciales, cada elemento se expresa dentro una base de datos de tantas formas como sea posible, de esta manera se calcula la media para cada tipo de expresión y para cada subpoblación, se seleccionan las formas de expresión que discriminen significativamente entre las dos submuestras, al final se toman las medias de cada una de las formas de evaluación y esto

proporciona los índices DDI de cualquier especie cultivable Grajeda *et al.*, (1996); Mariscal *et al.*, (1996). Otros implican una manera de comparación en la concentración de un solo elemento, como la desviación óptima porcentual (DOP), es un método estadístico, usa la comparación de la concentración del nutriente respecto a una norma, pero en una expresión porcentual, cuantifica la cantidad en que un nutriente que se desvía de esa norma individual. De esta manera permite una clasificación u ordenamiento de los nutrientes en función de su estado limitante, sin embargo, su desventaja de esta norma es que no cuenta con la variabilidad debida al momento del muestreo, ni toma en cuenta la relación entre nutrientes (Cadahia y col., 1998 citado por Rodríguez, 1999).

NUTRIMENTOS

Entre los elementos disponibles en la naturaleza se encuentran los esenciales y los no esenciales. Entre los no esenciales (se caracterizan de acuerdo a la necesidad fisiológica y anatómica de la planta) destacan: plata, oro, silicio aluminio etc. Los elementos esenciales reciben específicamente éste nombre debido a que son nutrimentos necesarios para cumplir con su ciclo de vida de los organismos vegetales, ellos son, además del carbono (C), hidrógeno y oxígeno (H₂O), el nitrógeno (NO₃⁻ y NH₄⁺), fósforo (PO₄⁼ y HPO₄⁻), potasio (K⁺), Calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), azufre (S), hierro (Fe²⁺), cloro (Cl⁻), Boro (B), cobre (Cu²⁺), Manganeseo (Mn²⁺), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn²⁺) (Marshner, 1985).

MAÍZ

El maíz es una de las pocas plantas de importancia económica originaria de América. La historia registrada del maíz se limita a los años posteriores al descubrimiento de América, aparentemente la primera referencia histórica de la planta ocurrió el 5 de noviembre de 1492. Ese día, dos españoles enviados por Colon a una expedición al interior de Cuba, regresaron con el informe de que existía una especie de grano que llaman maíz, su utilización era variado (cocido, secado y convertido en harina) cuyo gusto fue bueno. El maíz dentado, harinoso, dulce, duro y reventón se cultivaba en América cuando Colón llegó y ahora se ha extendido su uso a todas las partes del mundo (Jugenheimer, 1981; Robles, 1983).

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE MAÍZ

<i>Reino</i>	<i>Vegetal</i>
<i>División</i>	<i>Tracheophyta</i>
<i>subdivisión</i>	<i>Pteropsidae</i>
<i>Clase</i>	<i>Angiospermae</i>
<i>Subclase</i>	<i>Monocotyledonae</i>
<i>Grupo</i>	<i>Glumiflora</i>
<i>Orden</i>	<i>Graminales</i>
<i>Familia</i>	<i>Graminea</i>
<i>Tribu</i>	<i>Maydeae</i>
<i>Genero</i>	<i><u>Zea</u></i>
<i>Especie</i>	<i><u>Z. mays</u></i>

Nombre común: Maíz

Nombre Científico : *Zea mays* L.

ECOLOGÍA DEL MAÍZ

El maíz es una planta dotada de una amplia respuesta a las oportunidades que ofrece el medio ambiente. Esta cualidad ha sido explotada por el hombre para conseguir variedades adaptadas a condiciones muy diversas, actualmente existe una gran diversidad de tipos y razas de maíz útiles para su cultivo bajo condiciones naturales muy distintas a las propias de su hábitat original.

El maíz es una especie vegetal que se adapta a condiciones ecológicas y edáficas diversas que es resultado de su amplia gama de variabilidad genética (Robles 1983). El maíz exige un clima relativamente cálido y agua en cantidades adecuadas. La mayoría de las variedades del maíz se cultivan en regiones de temporal, de clima caliente y de clima subtropical húmedo, pero no se adaptan en regiones semiáridas (SEP 1983).

FACTORES DE CRECIMIENTO

REQUERIMIENTOS DE LUZ

El maíz es una de las plantas cultivadas de más alto nivel de respuesta a los efectos de la luz, la falta o reducción de la luz inciden sobre su crecimiento y producción, una disminución del 90% de la intensidad lumínica por un periodo de unos pocos días produce la máxima reducción en el rendimiento en grano si se produce durante la fase de polinización. Una disminución del 30 a 40% en la intensidad de la luz produce un retraso en la madurez de cinco a seis días, las variedades tardías son más sensibles a la falta de luz. (Llanos, 1982).

Las variedades de maíz cultivadas actualmente crecen bien entre límites latitudinales amplios. En el hemisferio norte puede considerarse limitadas por el paralelo 58° y en el Sur por el 40° (Robles, 1983).

TEMPERATURA

En general, la temperatura media óptima para la producción de maíz debe oscilar entre 20° y 30° C, pero puede ser mayor o menor según las distintas regiones agrícolas. Para el límite norte la isoterma es de 18°, la temperatura óptima durante los meses de junio, julio y agosto es de 22° C con variaciones día-noche de ± 7 a ± 8 ° C (ver cuadro 4) (Robles 1983).

La temperatura óptima para una buena producción de maíz depende también del estado de desarrollo. Durante la época de formación de granos, las temperaturas altas tienden a inducir una maduración más temprana (SEP, 1991).

Cuadro 1. Funciones y deficiencias de los macronutrientes primarios constituyentes de las plantas superiores.

NUTRIMENTO	FUNCIÓN	SINTOMATOLOGÍA DE DEFICIENCIA
NITRÓGENO	<p>*Constituye del 16 al 1% de proteínas y es el principal compuestos del protoplasma.</p> <p>*Los compuestos que existen en el suelo se derivan de proteínas sintetizadas por las plantas o por los organismos que viven en él.</p> <p>*El nitrógeno se presenta como iones amonio y nitrito, que raramente supone más de 1 a 2% del total existente, constituye la fuente principal para la cosecha.</p> <p>*La cantidad de nitratos que se almacenan en el subsuelo y la profundidad a la que pueden extraerlos las plantas dependen principalmente del clima (Cruz, 1997).</p>	<p>*Mantiene un retraso en el desarrollo en los primeros estadios.</p> <p>*Presenta un color verde-amarillo claro de las hojas (clórica).</p> <p>*En maíz lo presenta la deficiencia cuando sobre pasa la altura de las rodillas. Es entonces cuando muchos maizales sufren deficiencias de nitrógeno, se caracteriza por el amarillamiento de las puntas de las hojas más viejas. Esta clorosis se continúa a lo largo del eje originando una V con la punta dirigida hacia el tallo y ulteriormente toda la hoja queda amarilla.</p> <p>*El proceso se repite en las hojas más jóvenes, progresando a las hojas más viejas cuando estas mueran serán completamente cafés (necróticas).</p>
FÓSFORO	<p>*Las semillas de maíz contienen alrededor de 0.6 a 0.8% de fósforo sobre materia seca.</p> <p>*Las hojas y otros tejidos de la planta, en el momento inmediatamente anterior a la cosecha, pueden tener de 0.19 a 0.40% (Llanos, 1982).</p>	<p>*La deficiencia en fósforo se presenta generalmente en las primeras fases del desarrollo, siendo típico la coloración púrpura-rojizo de las hojas. Esta coloración se debe a la producción de antocianina promovida por las grandes cantidades de azúcares que provoca el descenso en la síntesis de proteínas. El color púrpura se inicia en la punta de la hoja y continua por los bordes. Igualmente se producen tallos débiles y delgados con mazorcas pequeñas o torcidas, sustentadas por raíces poco extendidas. (Llanos, 1982; Arnon, 1975).</p>
POTASIO	<p>*No es un componente esencial como constituyente estable de los tejidos de la planta.</p> <p>*Su papel más importante es el de activador del metabolismo vegetal y promotor de intercambios activos entre los otros elementos tanto en el medio nutritivo como en los tejidos.</p> <p>*Uno de los efectos más notables, es su facultad para incrementar la eficiencia fotosintética en condiciones de baja intensidad lumínica (Llanos, 1984; Arnon, 1975).</p>	<p>*La deficiencia de potasio se muestra en un principio por la disminución de ritmos de crecimiento de la planta y un color más claro en las plantas deficitarias.</p> <p>*Posteriormente se decoloran los bordes de las hojas más viejas, seguido por el empardecimiento y necrosis de estos bordes.</p> <p>*Finalmente estos síntomas se extienden a toda la superficie de la hoja.</p> <p>*Otro síntoma es la coloración pardo oscura de los nudos del tallo que difiere claramente de la coloración de los entrenudos (Berger, 1955, citado por Arnon, 1977)..</p>

Cuadro 2. Función y deficiencias de los macronutrientes secundarios en las plantas superiores.

NUTRIMENTO	FUNCIÓN	SINTOMATOLOGIA DE DEFICIENCIA
CALCIO	<p>*Se le ha considerado necesario para la formación de lámina media celular de las hojas de la planta, a causa de su importante papel en la síntesis de pectato de calcio que da rigidez a la célula y su contenido aumenta con la edad y promueve el desarrollo de las raíces.</p> <p>*Favorece la formación y el incremento de la proteína contenida en las mitocondrias.</p> <p>*Se encuentra involucrado en los procesos de elongación celular, desarrollo de tejido meristemático y síntesis de las proteínas.</p> <p>*Participa como cofactor de muchas enzimas en la hidrólisis del ATP y fosfolípidos (Fassbender, y Borneminza, 1987)..</p>	<p>*Produce un ennegrecimiento del ápice vegetativo. (Gamboa, 1980).</p> <p>*Al mismo tiempo no se mueve libremente de las partes más viejas a las más jóvenes de la planta. Es la razón por la cual los síntomas de deficiencia de calcio aparecen en los puntos de crecimiento.</p> <p>*Afecta la absorción de otros nutrientes de las plantas especialmente nitrógeno (Ortiz, 1990).</p> <p>*La falta de calcio como elemento nutritivo, se debe más bien a la insuficiencia o baja disponibilidad de otros elementos nutritivos indispensables, como una nitrificación defectuosa o a la toxicidad de elementos tales como manganeso o el aluminio, cuando están presentes en cantidades excesivas. (Gamboa, 1980).</p> <p>*El calcio se encuentra en el maíz en las hojas, siendo el grano especialmente pobre en este elemento No se produce generalmente, deficiencias en el suelo que tengan un pH igual o superior a 6.0.(Arnon, 1975; Gamboa, 1980).</p>
MAGNESIO	<p>*Están relacionadas a movilidad dentro de la célula como: alta capacidad de interactuar con ligandos nucleófilos fuertes, relacionados con enlaces iónicos y actúa como elemento enlazante para formar complejos de diferente estabilidad.</p> <p>*Los enlaces son iónicos. aunque algunos son covalentes, como en la clorofila.</p> <p>*El magnesio forma complejos terciarios con enzimas en los cuales funciona como camión, se enlaza para establecer la geometría precisa entre el sustrato y la enzima.</p> <p>*Una proporción alta de Mg total esta implicada en la regulación del pH celular y en el balance catión, anión.</p> <p>*Su principal función es formar parte del núcleo de la clorofila; que tan solo una pequeña porción del Mg total esta enlazado a la molécula de clorofila aproximadamente el 25%.</p> <p>*Las necesidades de magnesio para el maíz son parecidas a las del calcio y fósforo, pero, el grano es netamente más rico en ellos (Llanos, 1984, Marschner, 1985).</p>	<p>*Produce rayas blancuzcas a lo largo de las venas y con frecuencia, el envés de las hojas inferiores toma una coloración púrpura.</p> <p>*En algunos casos la deficiencia puede producirse en suelos arenosos ácidos, incluso si su pH se ha elevado a 6 mediante enmiendas calizas.</p>

Cuadro 3-A. Función y deficiencias de micronutrientes de plantas superiores.

NUTRIMENTO	FUNCIÓN	SINTOMATOLOGÍA DE DEFICIENCIA
HIERRO	<p>*El hierro se absorbe por las raíces de las plantas en forma iónica o como sales orgánicas complejas.</p> <p>*Cumple funciones bioquímicas específicas relacionadas con la respiración, la síntesis de clorofila y fotosíntesis, la fijación de nitrógeno atmosférico, el metabolismo de las proteínas y la reducción de los nitratos.</p> <p>*Activa varios sistemas meristemáticos: Hidrogenasa fumárica, catalasa, oxidasa y citocromos.</p> <p>*La absorción de hierro es muy sensible a la influencia de otros cationes tanto (K, Ca, Mg como microelementos Mn, Zn y Cu) que produce un antagonismo.</p> <p>*Existen numerosos estudios mostrando deficiencias de Fe inducidas por niveles demasiados elevados de estos metales. En efecto decrece según el orden $Cu > Zn > Mn$. (Salisbury <i>et al.</i>, 1978).</p>	<p>*Las hojas jóvenes pequeñas son de color verde pálido a amarillento. Estas se ven más afectadas que las viejas, debido a la relativa inmovilidad del hierro dentro de la planta.</p> <p>*Con frecuencia las nerviaciones permanecen verdes mientras los tejidos foliares, entre ellas, adquieren el tono amarillo de la clorosis férrica.</p> <p>*Las hojas de maíz y del sorgo son deficientes de hierro muestran bandas pálidas entre las nerviaciones. Las plantas anuales pueden mostrar deficiencias de hierro al principio de la estación vegetativa, recuperándose más tarde cuando el suelo se calienta.</p> <p>*El hierro muestra deficiencias en cultivos que crecen en suelos calizos y aparece en hojas jóvenes de las plantas; actúa de la siguiente manera, no parece haber traslación de los viejos tejidos a la punta de los meristemos, como resultado cesa el crecimiento, las hojas jóvenes presentan una clorosis internerval que progresa rápidamente sobre la hoja entera. En casos extremos las hojas se vuelven completamente blancas (Loue, 1988).</p>
ZINC	<p>*El zinc es sin duda el micronutriente cuya deficiencia está más extendida en los cultivos de maíz. En fases muy diferentes del desarrollo de la planta. Cantidades de zinc de más de 100 ppm en sus hojas se correlacionan con un alto rendimiento de la parte vegetativa (tallos y hojas). Pero una cosecha de grano altamente rentable no es compatible con proporciones de zinc superiores a 20 ppm en ésta (Llanos, 1984; Arnon, 1975).</p>	<p>*Hay aparición de zonas coloradas a ambos lados de la nervadura, en el tercio inferior de las hojas sub-basales. Estas manchas progresan rápidamente formando dos bandas pálidas, translúcidas, que se extienden hacia la parte terminal de la hoja. En casos graves, estas decoloraciones se manifiestan sobre las hojas siguientes, mientras que las hojas más viejas adquieren un color rojo cobre y en seguida violeta, por último adquieren un color necrótico y al final se mueren (Instituto de la Potasa y el Fósforo).</p>
COBRE	<p>Pocos casos de deficiencia de cobre han sido identificados y éstos, en su gran mayoría. Se han producido en suelos orgánicos con pH igual o superior de (6.0).</p>	<p>*Los síntomas aparecen en las hojas jóvenes, que son de color amarillo, con las venas algo más coloreadas, las puntas enrolladas y necróticas.</p> <p>*El síntoma más típico es el denominado de las "asas de cesta" que se forman al quedarse unida la última hoja que se desarrolla con la extremidad de la planta, constituida por las hojas más jóvenes aún no desenrolladas.</p>

Cuadro 3-B. Función y deficiencias de micronutrientes de plantas superiores.

NUTRIMENTO	FUNCIÓN	SINTOMATOLOGÍA DE DEFICIENCIA
MANGANESO	<p>*El manganeso induce la síntesis de la clorofila, es un cofactor para las deshidrogenasas, oxidasas, carboxilasas y se requiere para la producción de oxígeno en la fotosíntesis.</p> <p>*Las plantas cultivadas en suelo no contienen más de 10 µg por gramo de materia seca, pero la concentración suele ser mayor en condiciones de toxicidad.</p> <p>*El manganeso en exceso produce síntomas característicos de toxicidad que sobre todo es notable en las plantas jóvenes. Estos difieren entre las especies pero es frecuente observar un moteado marrón en las hojas. *Las concentraciones de manganeso que toman los cereales son de 44, 14 y 12 mg Kg⁻¹ en plantas que crecen a un pH de 5.5, 4.0 y 3.3 respectivamente (Rending, <i>et al.</i>, 1989)</p>	<p>*Las necesidades en maíz son muy débiles, no observándose la deficiencia más que muy raramente, la deficiencia se manifiesta por la aparición de largas líneas estrechas clóricas tanto sobre las hojas superiores como sobre las inferiores, que además presentan un color verde ligeramente más claro que las hojas de plantas sanas. Seguidamente, el tejido del centro de las áreas clóricas se ponen necróticas y se caen.</p> <p>*La deficiencia proviene bastante a menudo de un abuso de enmiendas calizas (encalados).</p>

Cuadro 4. Temperatura mínima, óptima y máxima en diferentes periodos de crecimiento de maíz (Llanos, 1984).

	MÍNIMA	OPTIMA	MÁXIMA
GERMINACIÓN	10°	20-25°	40°
CRECIMIENTO VEG.	15°	20-30°	40°
FLORACIÓN	20°	21-30°	30°

ALTITUD

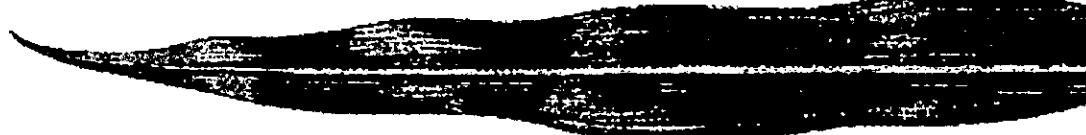
En general, el maíz se obtienen buenos rendimientos al cultivarlo desde el nivel del mar y hasta alrededor de 2500 msnm, sin embargo, se puede cultivar en altitudes mayores a los 3000 msnm, pero los rendimientos disminuyen, sobre todo por las bajas temperaturas (Robles, 1983).

LATITUD

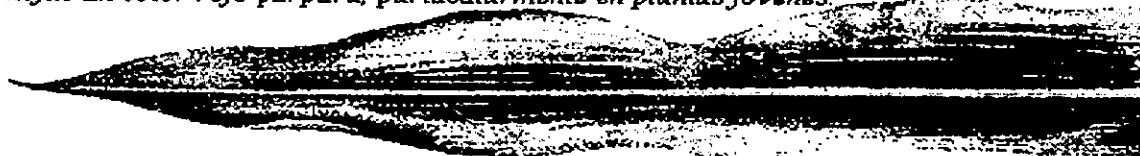
En general, el maíz se adapta desde mas o menos 50° de latitud norte hasta alrededor de 40° de latitud sur. Las regiones más productoras de maíz se localizan entre el trópico de cáncer y el trópico de Capricornio (Robles, 1983).



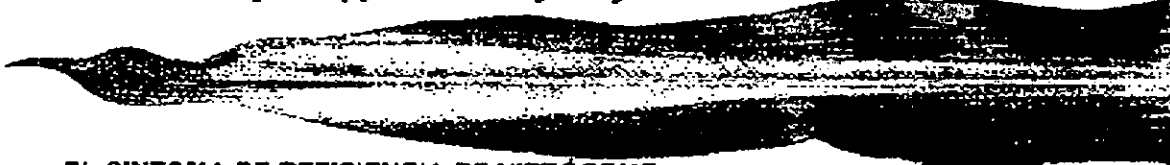
LAS HOJAS SALUDABLES, de un cultivo nutrido adecuadamente, brillan con un color verde intenso.



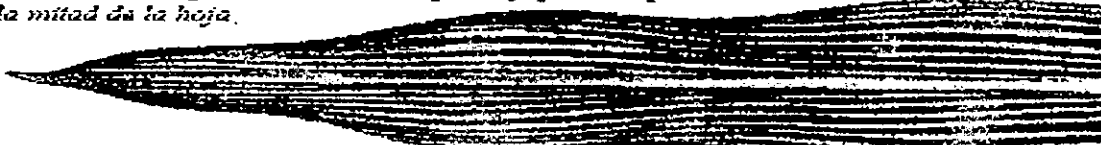
LA DEFICIENCIA DE FÓSFORO, marca a las hojas un color rojo púrpura, particularmente en plantas jóvenes.



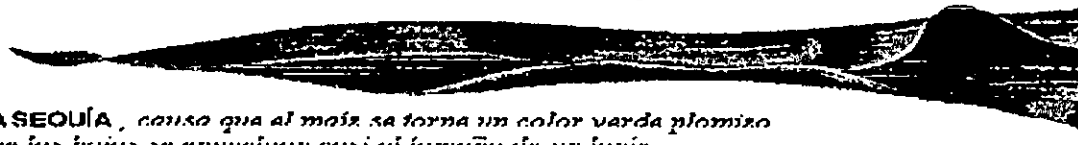
LA DEFICIENCIA DE POTASIO, aparece como un quemado o secamiento en las puntas y filos de las hojas bajas.



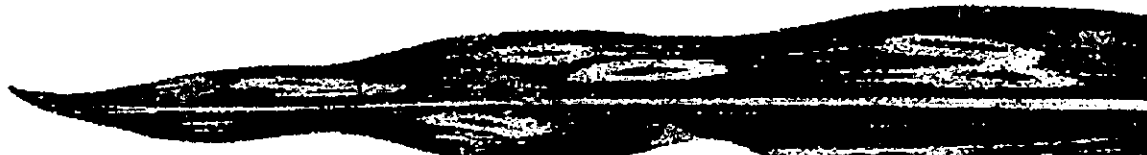
EL SINTOMA DE DEFICIENCIA DE NITRÓGENO, aparece como un amarillamiento que comienza en la punta y que se expande por la mitad de la hoja.



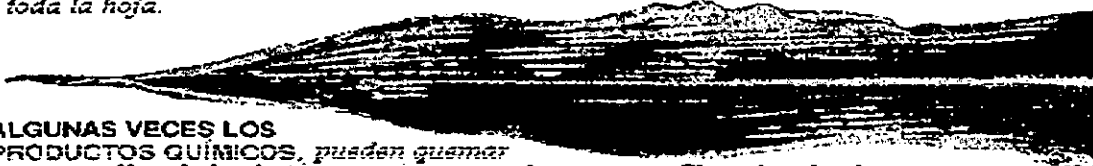
LA DEFICIENCIA DE MAGNESIO, se presenta en la hoja como fajas blancucinas a lo largo de las nervaduras y a menudo aparece un color púrpura en la parte superior de las hojas banderas.



LA SEQUÍA, causa que al maíz se torna un color verde plomizo y que sus hojas se envuelven casi al tamaño de un lápiz.



LA ENFERMEDAD, causada por *helminthosporium* comienza con pequeños puntos que gradualmente se expanden por toda la hoja.



ALGUNAS VECES LOS PRODUCTOS QUÍMICOS, pueden quemar las puntas y filos de las hojas y otros puntos de contacto. El tejido y las hojas se tornan blancas.

Fig 1. Sintomatología visual de las deficiencias nutrimentales de la hoja de maíz.

SUELOS UTILIZADOS PARA EL MAÍZ.

Prácticamente prospera en cualquier suelo; pero, en forma general el maíz necesita suelos profundos y fértiles para dar buena cosecha. El suelo de textura franca es preferible para el maíz. Esto permite un buen desarrollo del sistema radical, con mayor eficiencia de absorción de la humedad y de los nutrimentos del suelo. Además, se evitan problemas de ácame o caída de las plantas, los suelos con estructura granular proveen un buen drenaje y retienen el agua y son preferibles los suelos con un alto contenido de materia orgánica. Se obtiene una mejor producción cuando la calidad y acidez del suelo están balanceadas, el pH óptimo se encuentra entre 6 y 7 (Robles 1985 y Llanos, 1982).

HUMEDAD

La condición ideal de humedad de suelo, para el desarrollo del maíz, es cerca a la capacidad de campo. La cantidad de agua durante la temporada de crecimiento no debe ser menor de 300 mm. La cantidad óptima de lluvia es de 550 mm, la máxima de 1000 mm. Las variedades precoces necesitan menos agua que las tardías.

PRÁCTICAS DE CULTIVO

Los campos que se destinan a la producción de maíz generalmente se barbechan, rastrean y nivelan unas cuantas semanas antes de la siembra, con el objetivo de permitir que las lluvias y la exposición al sol sirvan para desintegrar los terrones y mejorar la estructura del suelo donde se va a sembrar. Con frecuencia el suelo se eleva ligeramente en surcos dobles a intervalos de 80 a 100 cm de separación. Las pequeñas depresiones entre los bordos, constituyen los futuros surcos los cuales deben seguir líneas de contorno, a menos que el terreno este perfectamente a nivel. Aun en campos a nivel, la ligera elevación del suelo ayuda a hacer mínima la erosión laminar por vientos y lluvias. Las semillas se siembran en "matas" especificadas de 40 a 50 cm poniendo de 2 a 3 semillas por mata. La siembra generalmente se efectúa a mano o con sembradora, se requiere alrededor de 9-12 kg./ha.

FERTILIZACIÓN DE MAÍZ

El maíz requiere un manejo adecuado en cuanto a la fertilidad del suelo, especialmente los híbridos de maíz, que necesitan gran cantidad de fertilizantes para que alcancen un alto rendimiento. Los análisis de suelo y tejido vegetal o foliares deben indicar la cantidad y forma que debe aplicarse. El maíz necesita una buena cantidad de nitrógeno para alcanzar el máximo rendimiento. El período de máxima asimilación de éste nutrimento se presenta desde 10 días de la floración hasta 25 días después de ella. Los requerimientos durante el segundo mes después de la siembra son bajos. Su suministro puede hacerse en dos aplicaciones: el 30% del total antes o durante la siembra y el 70% restante antes de la floración.

Con frecuencia se mezcla con el suelo un fertilizante completo ($N-P_2O_5-K_2O$), justo a tiempo en la siembra o poco antes de la misma, aplicando posteriormente materiales individuales tales como sulfato de amonio o nitrato de amonio o mezclas iguales de las que se aplicaron inicialmente.

Para la forma de aplicar el fertilizante existen sembradoras combinadas, equipadas con distribuidores. De esta manera, se hace la aplicación en bandas y en diferentes lugares, de acuerdo con la maquinaria que use y en relación con el sistema radical de la planta:

- a) aplicación de ambos lados de la semilla para lograr un buen efecto inicial. Este puede perderse si no hay suficiente humedad
- b) aplicación al mismo nivel de la semilla, para alcanzar un mejor efecto inicial
- c) aplicación por debajo de la semilla. En este caso, las raíces de la semilla entran en contacto con el fertilizante dos días después que los casos anteriores. No hay efecto inicial
- d) aplicación en pequeñas cantidades al pie de la semilla, para lograr un buen efecto inicial (SEP, 1991).

SIEMBRA DE MAÍZ

La densidad de siembra depende de las condiciones del clima, del suelo y de la variedad de la semilla. La densidad varía de 40,000 plantas por hectárea para ejemplares grandes y hasta 120,000 plantas por hectárea para maíz forrajero.

La profundidad de siembra depende principalmente de la humedad del suelo y de la necesidad de anclaje de la planta.

- en suelos húmedos y fríos, se siembra a una profundidad de 5 cm o menos.
- en suelos secos, arcillosos, se siembra a una profundidad de hasta 7 cm.
- en suelos de estructura ligera, arenosa, se puede sembrar a una profundidad de hasta 10 cm, para que la semilla tenga contacto con la humedad y para obtener un adecuado anclaje de la planta.

COSECHA DE MAÍZ.

El maíz se siembra con diferentes propósitos, tales como producción de forraje verde y ensilaje para el consumo animal, producción de granos secos, o como hortaliza en forma de elote para consumo humano (SEP, 1991)

En México la importancia del maíz se debe a una cuestión cultural que no se agota en consideraciones agrícolas, alimentarias, biológicas y costumbristas (Dirección General de Culturas Populares 1987; Ramos, 1982). En México se siembra actualmente más de 7 millones de ha con maíz de los cuales el 85% se cultiva en temporal cerca de la mitad del volumen total de alimentos que consumen en el país cada año.

En el caso el Estado de México del total de la superficie (28 224, 995.00 ha), se utilizan aproximadamente el 40% (918 072. 79 ha) con fines agrícolas, de los cuales (48, 800.18 ha) son terrenos que cuentan con un sistema de irrigación y los restantes (769 272.61 ha) son de temporal (INEGI, 1989).

UTILIZACIÓN E IMPORTANCIA DEL MAÍZ

El maíz tiene una gama de usos más amplia que cualquier otro cereal ya que todas las partes de la planta tiene aplicación, ya sea en la alimentación ganadera, en la industria alimentaria para el hombre y como materia prima industrial (Llanos, 1982).

Se estima que más de 800 artículos que utiliza la humanidad, interviene el maíz (Fig. 2) (Llanos, 1984, Reyes, 1990). El interés del maíz en la alimentación humana, se basa en cualidades alimenticias o gastronómicas. El grano de maíz, en comparación con los otros cereales, contiene una elevada cantidad de leucina, alanina y ácido aspártico y relativamente baja de ácido glutámico, triptófano, lisina y glicina. El principal tipo de proteína del grano de maíz es la zeína, que se encuentra en el endospermo

Aproximadamente el 20 % de la proteína del grano está en el embrión y el 80% en el endospermo. Los componentes básicos del grano de maíz en porcentaje medio, en peso de materia seca, se enumeran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Porcentaje medio de los componentes básicos del grano de maíz en peso seco (Llanos, 1984).

COMPONENTES	%
Carbohidratos	80
Proteínas	10
Aceite	3.5
Fibra	2.0
Minerales	trazas

Los nutrientes contenidos por cada 100 g de maíz comestible se presentan en el cuadro 6.

La planta de maíz es utilizada en su totalidad por el campesino para satisfacer sus necesidades como:

- a) forrajes, granos, mazorcas, hojas y tallo que sirven para puercos, aves de corral, ganado, vacuno, caballos, mulas, burros etc. ver fig. 2.
- b) Abono: la cañuela, el tocón y las raíces cumplen esta función cuando la parcela es barbechada para el nuevo ciclo.
- c) Usos medicinales: los cabellos de elote (utilizado como té para el buen funcionamiento de los riñones).
- d) Envoltura y Usos Artesanales: las hojas de las plantas sirve para envolver tamales. En la producción artesanal se usa la caña, el interior de ella, las hojas y el elote.
- e) Combustible: el elote, las cañas y las raíces de la planta se usan como combustible en los fogones.

f) Alimento humano: el maíz se procesa para consumirse en forma de tortillas o tamales, aunque suele dirigirse simplemente asado o cocido y también se usa como condimento en algunos platillos mexicanos (Reyes, 1985) (ver fig. 2).

Cuadro 6. Porcentaje medio de los nutrimentos contenidos en el grano de maíz (Llanos, 1984).

NUTRIMENTOS	%
Energía (Kcal)	35.0
Proteínas (g)	8.9
Grasas (g)	4.3
Calcio (g)	22.0
Fósforo (g)	26.8

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE SUELO

El suelo es la capa mineral superficial de la capa terrestre producto del material geológico, por acción de agentes físicos, químicos y biológicos, es material capaz de soportar crecimiento vegetal. Formado por materiales inorgánicos, orgánicos, agua y gases. Algunos suelos son productivos por naturaleza y mantienen cultivos abundantes de gran valor con poco esfuerzo humano, a diferencia de otros tan improductivos que casi no conservan por sí solo la vida de la planta útil (Thamane, *et al.*, 1986).

Por características químicas y físicas cada nación ha intentado clasificar los diferentes tipos de suelo. La FAO-UNESCO elaboró un mapa mundial de suelos, reconociendo 32 unidades o tipos de suelo, de las cuales, al menos 10 se encuentran en México.

1. el 25% de territorio nacional presenta Calcisoles y Cambisoles
2. el 23% esta cubierto por Kastañozems y Solonetz
3. el 18% Luvisoles
4. el 10% de Vertisoles
5. el 9% de Andosoles
6. el 8% representa, Leptosoles.

La productividad es uno de los factores principales que pueden no llenar los requisitos para una producción óptima. Esta característica sirva para juzgar el efecto de las propiedades químicas del suelo sobre la producción de cultivos es importante por dos razones. Una para establecer si las propiedades intrínsecas del suelo son una limitación seria para la productividad de cultivos y la otra para establecer su susceptibilidad al mejoramiento (CIMMYT, 1980).

LA ACIDEZ DEL SUELO

La acidez es uno de los principales problemas que limita la producción agrícola en algunos suelos del país. Los problemas relacionados con la acidez del suelo son la deficiencia de nutrimentos tales como Ca, Mg, Mo y P; o bien la toxicidad de Al y Mn (Ritchie, 1989; Sumner, *et al.*, citados por

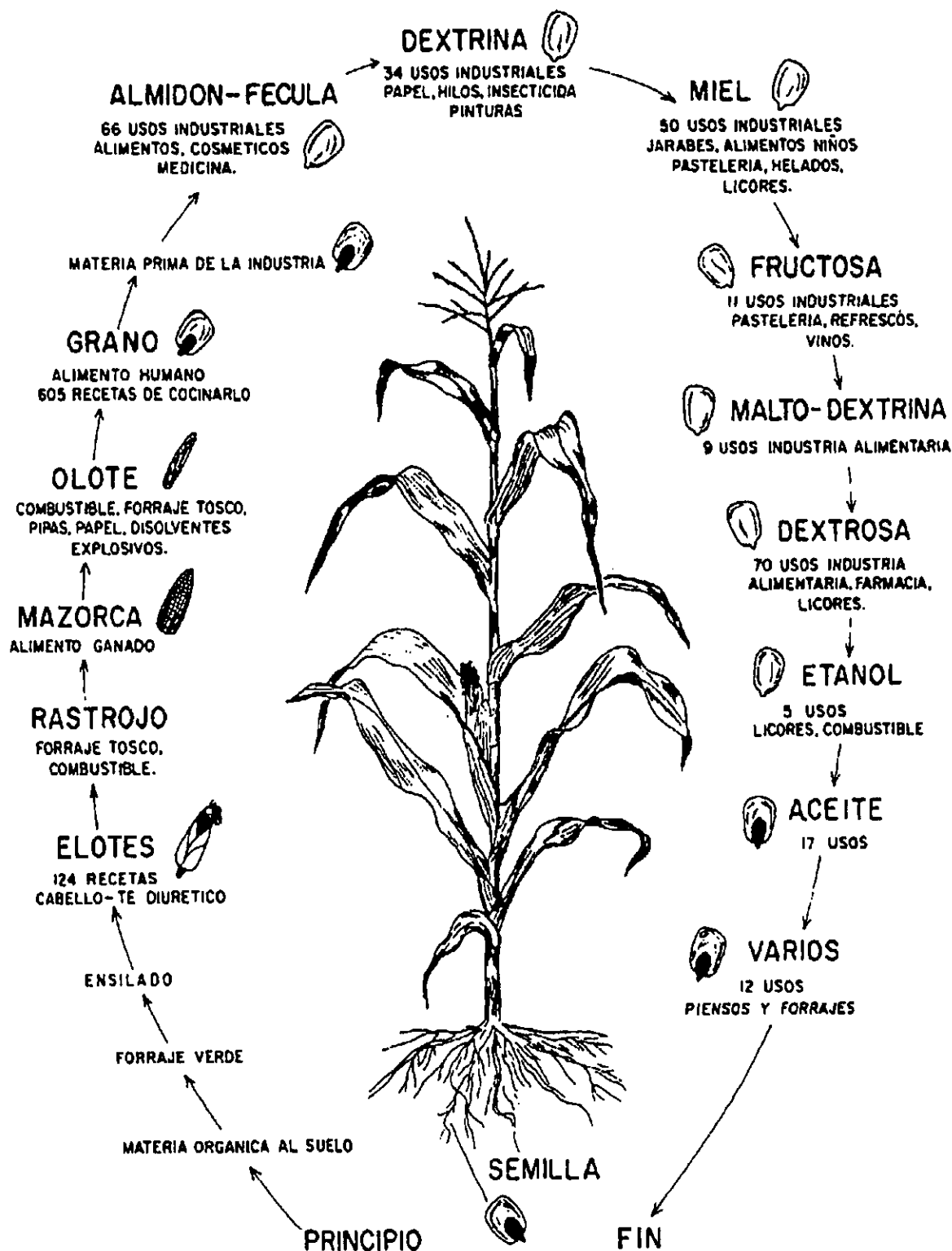


Fig. 2. Utilización del Maíz (Tomada de Reyes, 1990).

Alvarado, *et al.*, 1991). Se origina principalmente en regiones de alta precipitación pluvial que desplaza los radicales básicos Ca, Mg, Na y K tanto el complejo de intercambio como de la solución del suelo y su sustitución por iones hidrógeno o aluminio, Esto provoca a ellos toxicidades en cultivos por concentraciones altas de aluminio y manganeso (Nuñez, 1985, citado por Aguilar y López, 1992; Fassbender y Bornemiza, 1987). Está determinada por la composición química del mismo y por las reacciones de intercambio de iones y de hidrólisis que presentan los componentes inorgánicos y orgánicos existentes. Los componentes inorgánicos son: los minerales de arcilla cristalinos, los óxidos e hidróxidos, el suelo alofán y otros compuestos amorfos y los ácidos solubles son la forma orgánica presentes en los suelos.

EFFECTO DE LA ACIDEZ DEL SUELO SOBRE LAS PLANTAS

Los diversos efectos que ejerce la acidez del suelo sobre las plantas pueden ser directos o indirectos, las directas son: a) toxicidad de los iones H^+ sobre los tejidos de la raíz; b) en la permeabilidad de las membranas para los cationes y c) perturbaciones en el equilibrio entre los constituyentes básicos y ácidos a través de las raíces. (Tamhane, *et al.*, 1986; Pérez, 1990; Fassbender y Bornemiza, 1987).

La acidez del suelo ejerce efectos directos perjudiciales sobre las plantas, en especial sobre cambios enzimáticos, por que las enzimas son particularmente sensibles a los cambios de pH. Las influencias indirectas son: a) la disponibilidad de nutrimentos diversos, como: cobre y zinc; b) solubilidad elevada y disponibilidad de elementos como aluminio, manganeso y hierro en cantidades tóxicas, c) desfavorece las actividades benéficas de los microorganismos del suelo, d) aumenta las enfermedades de la planta, e) deficiencia de nutrimentos como calcio, potasio magnesio y fósforo (Tamhane *et al.*, 1986).

UNIDADES TAXONÓMICAS DE SUELO PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO

ACRISOLES

El nombre deriva de la palabra latina *acris*, muy ácido.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Suelos que tienen un horizonte B argílico con una saturación de bases de menos de 50% con NH_4 AC, principalmente en la parte interior del horizonte B dentro de los primeros 125 cm de profundidad. Carecen de un horizonte A mólico; de un horizonte E álbico (Patrick, 1984). Asociados a un clima húmedo cálido y terrenos antiguos, estos suelos han tomado una coloración rojiza, caracterización de los suelos de regiones frías.

Los acrisoles representan enorme potencial para la producción agrícola, se desarrollan en climas que tienen largas estaciones libres de heladas y abundancia de lluvias. Por lo común producen buenas cosechas durante los primeros años, en un lapso de tiempo, es necesario que los nutrimentos de reserva en la materia orgánica se les devuelva por medio de estiércoles o fertilizantes minerales. La baja fertilidad y bajo contenido de bases han sido y siguen siendo, la principal limitación para uso agrícola. Estas limitaciones se pueden superar mediante prácticas agrícolas como encalado y fertilización aplicando en particular nitrógeno y fósforo, la deficiencia en microelementos no son comunes (Boul, 1983; Patrick, 1984).

LEPTOSOLES

El nombre deriva de la palabra griega *lithos* que significa piedra; connotativa de suelos con roca dura a muy poca profundidad.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Suelos que están limitados en profundidad por roca continua dentro de los 10 cm de profundidad de la superficie. Se presenta principalmente en zonas montañosas pero puede ocurrir en otras áreas como en superficies planas de roca dejadas desnudas por hielo, la erosión causada por el agua, el viento y el desgaste de masas, es importante en zonas inclinadas a montañosas, donde el escurrimiento y la infiltración son rápidos. Las tierras rocosas, esquistosas y arenosas plantean riesgos en diferentes modos. Suelos de menos de 25 cm de espesor sobre la roca o tepetate. No aptos para cultivos, pueden destinarse al pastoreo (Patrick, 1984; Boul *et al.*, 1983 y Aguilera, 1989).

FEOZEM

El nombre deriva del griego *phaijos* que significa negruzco y de la palabra rusa *zemlja* cuyo significado es tierra.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Suelos que tienen un horizonte A mólico; carentes de un horizonte cálcico; tienen un horizonte gypico o concentraciones de cal suave pulverizada dentro de los 125 cm de profundidad. Carentes de un horizonte B nátrico y un horizonte B ócrico y de las características que son de diagnósticas para Rendzinas, Vertisols, Planosols o Andosols, sin salinidad elevada; carentes propiedades hidromórficas dentro de los primeros 50 cm de profundidad cuando no hay presente un horizonte B argílico; carentes de revestimiento decolorados en las superficies estructurales de los pedos cuando el horizonte A Mólico tiene en húmedo un croma menos de 2 a una profundidad no menor de 15 cm. Las comunidades vegetales que predominan son gramíneas altas y encinos. Estos suelos están confinados casi exclusivamente a situaciones planas a ligeramente onduladas y casi están por completo ausentes en pendientes moderadas a pronunciadas.

UTILIZACIÓN

Estos suelos tienen una fertilidad natural elevada y producen buenas cosechas, la cual pueden aumentarse con la aplicación de fósforo y cuando se practican cultivos intensivos es necesario la aplicación de fertilizantes y cal. Tradicionalmente, estos suelos se han utilizado para el cultivo de granos como maíz, trigo y avena, practicándose en la actualidad otros como la soya. La utilización de las cosechas varía de un lugar a otro, se les destina para uso humano o forrajes. Tanto el viento como el agua presentan un grave peligro y todo el tiempo se deben practicar métodos de control de la erosión (Patrick, 1984, Boul, *et al.*, 1983 y Aguilera, 1989).

VERTISOLES

El nombre proviene de la palabra latina *verto* que significa voltear, connotativo del volteo hacia abajo de la superficie del suelo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Suelos que después de haber mezclado los 20 cm superiores tienen 30% o más de arcilla en todos los horizontes a una profundidad no menor a 50 cm, desarrollan grietas de la superficie del suelo hacia abajo, los cuales en algún periodo tienen cuando menos 1 cm de ancho a una profundidad de 50 cm. Son suelos de color oscuro con textura uniforme fina o muy fina y un contenido bajo de materia orgánica, pero tal vez su propiedad más importante es la dominación de la arcilla expandente en la fracción del látice, por lo general montmorillonita, la consistencia varía de acuerdo al contenido de humedad, por lo general, son duros cuando están secos, macizos cuando húmedos y plásticos y pegajosos cuando mojados (Patrick, 1984).

Las características más comunes en los ambientes de los Vertisoles es una desecación estacional del perfil del suelo. Los patrones de precipitación pluviales que se asocian a los Vertisoles son diversos (Boul *et al.*, 1983).

Una característica común de los diversos materiales originales de los varios Vertisoles es una reacción básica (alcalina). Estas incluyen rocas sedimentarias calcáreas, rocas ígneas básicas, basalto, cenizas y aluviones de esos materiales. Los usos agronómicos de los Vertisoles varían mucho, dependiendo del clima. El elevado contenido de arcillas y la baja permeabilidad asociada de esos suelos, cuando están húmedos, los hace convenientes para los cultivos que requieren retención de agua superficial.

ANDOSOLES

En la República Mexicana, los suelos derivados de materiales volcánoclasticos (cenizas volcánicas, materiales piroclásticos), basaltos y tobas, se localizan dentro de la meseta neovolcánica transmexicana donde representa aproximadamente 50 a 60% de la superficie. Los procesos volcanogenéticos (grandes sistemas volcánicos y volcanes monogenéticos), la diversidad de los productos volcánoclasticos y la acción de los procesos morfogenéticos, la erosión en particular sobre estos materiales, son los causantes de la diversidad orográfica de la meseta neovolcánica transmexicana. La actividad climática y de vegetación forman parte, de la distribución espacial en la meseta transmexicana así se explican la gran diversidad de los Andosoles mexicanos.

En México, los suelos derivados de cenizas volcánicas cubren una gran extensión que alcanza aproximadamente 490,750 km², se ubican a lo largo del eje Neovolcánico en las condiciones del paralelo 19, que cruza gran parte del territorio mexicano, la cual se desarrollan una diversidad de agricultura de importancia económica como: maíz, trigo, y frijol (Aguilera, 1965).

Por estas razones, para la cartografía de los suelos Andicos y en especial los Andosoles mexicanos, requieren de un sistema taxonómico muy jerárquico que tome en cuenta no solo los procesos y factores de formación de suelo, sino también a un gran número de propiedades de estos para su clasificación.

GÉNESIS DE LOS ANDOSOLES

La formación de los Andosoles es un proceso muy rápido de la gran superficie específica de las cenizas volcánicas que es el material materno, la cual en condiciones húmedas se comporta en forma

única. El proceso principal es la hidrólisis que intemperiza a la ceniza inicialmente a paligonita. La paligonita es un aluminio-silicato amorfo que contiene ciertas cantidades de calcio, magnesio y potasio, pero que cambia rápidamente a alófan. Después de la hidrólisis se forma también óxidos amorfos y microcristalinos de fierro y aluminio que se distribuyen en el perfil (Quantin, 1994).

Otro proceso importante que se lleva es la humificación parcial de la materia orgánica y la formación de complejos estables con alófan.

Los Andosoles presentan una capacidad de intercambio cationico (CIC) que varía con el pH; es decir a pH altos la CIC es ligeramente alta pero a pH bajo la CIC es baja aunque debido al contenido de materia orgánica, en el horizonte superior es ligeramente mayor que el horizonte B cámbico.

Los Andosoles se dividen en cuatro subclases:

- Andosol ocríco: tienen un horizonte A ocríco y un horizonte B cámbico, consistencia es migajón limosa a más fina.
 - Andosol mólico: tiene un horizonte A mólico con textura migajón limosa a más fina.
 - Andosol Humillo: suelos con horizontes A úmbrico, textura migajón limosa a más fina.
- Andosol vítrico: suelos de textura más gruesa que migajón limoso y sin consistencia embarrosa. (Shoji *et al.*, 1995).

Sin dudar de los sistemas taxonómicos multicategóricos son los que mejor se adapta a las condiciones mexicanas. El nuevo orden Andisol propuesto por el Comité Internacional en la Cartografía de los Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas del área de influencia, comparándolo con algunos sistemas de clasificación nacionales de mayor uso en el mundo y con el sistema de nomenclatura de la FAO/UNESCO.

ANTECEDENTES DE CLASIFICACIÓN

En la mayoría de los sistemas mundiales de clasificación de suelos, los que son derivados de cenizas volcánicas fueron agrupadas dentro de una clase de suelos independientes en un nivel taxonómico más alto bajo el nombre de Andosol, tal es el caso del sistema de clasificación francesa, en el sistema FAO/UNESCO y en el sistema USDA dentro del orden de los Inceptisoles y el suborden Andeps. Sin embargo, se ha encontrado demasiada deficiencia en la cartografía correcta de los Andosoles del mundo. Esto y el carácter abierto al sistema taxonómico del USDA ha llevado al ICOMAND (Comité Internacional para la clasificación de Andisoles) al proponer elevar esta categoría de Andep a nivel de orden de suelos bajo el nombre de Andisol, compuesto de las raíces japonesas An= negro, la vocal, i de conexión, y la terminación Sol del latín solum=suelo, esto conforme a la regla de nomenclatura de los ordenes de suelos preexistentes en el sistema taxonómico.

Detalles de las categorías en que han sido agrupadas los suelos derivados de cenizas volcánicas tanto en el sistema de la FAO, Francesa, USDA 1975 y propuesta por la ICOMAND (carta circular No. 9 de Mayo de 1987).

CARACTERÍSTICAS POR PARTE DE LA FAO

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Son suelos con un horizonte A mólico o úmbrico posiblemente situados sobre un horizonte B cámbico o bien un horizonte A ocríco y un B cámbico no teniendo otros horizontes de diagnóstico a menos que estén enterrados por 50 cm o más de material nuevo con una profundidad de 50 cm ó más, ambos de las siguientes características:

- a) Una densidad aparente de la fracción de tierra Fina (a 1/3 bar retención de agua) de menos de 0.85 gr/cm^3 y un complejo de intercambio dominado por material amorfo.
- b) 60% o más de ceniza volcánica vítrica escorias u otros materiales vítreos piroclásticos en la fracción del limo, arena y grava; carente de cualidades hidromórfos dentro de los 50 cm superiores; carente de características que son diagnóstico para Vertisol, carentes de salinidad elevada.

Los Andosoles son propuestos a un mayor grupo, basados en propiedades únicas de la fracción coloidal, primeramente formada de recientes inyecciones volcánicas. Los Andisoles son distinguidos por la ocurrencia del horizonte de diagnóstico Andicos que tiene propiedades tales como la dominada presencia de geles volcánicos, o pequeño rango de minerales y/o inmovilización de sesquióxidos-humus. Basados en estas propiedades mineralógicas y coloidales, tres subtipos de Horizontes Andicos son distinguidos:

- Vitr-Andico, dominado por vidrio volcánico y otros minerales primarios
- Sil- Andico, dominado por alófanos y similares principalmente materiales cristalinos secundarios (aluminosilicatos).
- Alu-Andico, determinado por aluminio acomplejado con ácidos orgánicos (Shoji *et al.*, 1996).

SISTEMA USDA (PROPUESTA POR ICOMAND) Mayo de 1987

De acuerdo por ICOMAND: El concepto central de Andisoles debe de cumplir con requerimientos de los suelos minerales y estos lo diferencian de los Histosoles que son suelos orgánicos por definición. Las propiedades de suelos Andicos son comúnmente encontrados dentro de los primeros 60 cm de suelo mineral, dentro de una capa por lo menos de 35 cm de espesor.

El suelo puede tener cualquier horizonte de diagnóstico, característico de otros suelos debajo de la capa de 35 cm los suelos son considerados Andisoles solo cuando los criterios de espesor y de posición de la(s) capa(s) andica(s) son encontrados.

En varios sitios de materiales de origen volcánico pueden ser contaminados por otros materiales tales como: los aluviones. La expresión mínima de las propiedades de suelos Andicos otra vez se diferencian de los Andosoles como suelos desarrollados en materiales volcánico explosivo (tales como, ceniza volcánica, pomex, material piroclásticos, basaltos) y/o materiales volcanoclásticos

cuya fracción coloidal es dominada por minerales de tamaño pequeño o por el complejo de aluminio-humus; bajo condiciones ambientales específicas el intemperismo de aluminosilicatos primarios en los materiales parentales de origen no volcánico puede conducir también a la formación de minerales de tamaño pequeño, tales como se caracterizan los suelos denominados Andisoles (Shoji, *et al.*, 1993).

El intemperismo de los aluminosilicatos y su respectiva cristalización forma partícula de alófanos, imogolita y ferridrita. Comúnmente este estado ha sido concebido con un estado de transiciones entre el material parental volcánico no intemperizado a condiciones de mayor intemperización, característica de algunos otros ordenes de suelo y la formación de materiales no cristalinos está directamente relacionado con las propiedades de las inyecciones volcánicas como material parental (Shoji, *et al.*, 1993).

Los Andisoles pueden tener cualquier epipedón de diagnóstico cumpliendo con los requerimientos mineralógicos para el orden dentro del epipedón mencionado. Puede tener cualquier régimen de humedad y de temperatura, así como puede ocupar cualquier posición en el paisaje.

Las arcillas que predominan en estos suelos es alófanos, halloysita, y caolinita, pero la relación de SiO₂/Al₂O₃ de las arcillas varía de 1.0 a 2.5, las capacidades de intercambio catiónico van de 30-50 cmol/Kg., en los suelos más intemperizados se acumula gibsita, óxidos de hierro y caolinita, el alófano y el Aluminio se encuentra en la superficie y son los responsables, en gran parte de la fijación de cantidades considerables de fósforo, lo cual limitan el uso de fertilizantes fosfatados en escala comercial. (Wada y Kakuto, 1985).

Las cenizas volcánicas son el material parental de una gran diversidad de suelos, algunos de los cuales pueden originarse también de otros materiales parentales, siempre y cuando las condiciones pedogenéticas de clima, topografía, vegetación y tiempo son propicias, los cuales están bien caracterizados en zonas templadas como en zonas tropicales, asociándose a ella una gran variedad de grupos de vegetación (Aguilera, 1989). Los depósitos de cenizas volcánicas se caracterizan por su alta porosidad y permeabilidad, por lo que bajo condiciones de humedad específica con fuertes lixiviaciones se acelera la desbasificación y pérdida de sílice, impidiendo la formación de arcillas cristalinas y acelera la formación del alófano (Wada y Hoarward, 1974).

Los suelos de Ando están constituidos mineralógicamente por vidrio volcánico 53.4%; plagioclasa 29.8%; piróxenos 13.3% y titanomagnetita 3.5%. Las cenizas volcánicas en su primera fase de meteorización (lixiviación de bases y sílice) dan lugar a materiales amorfos, tales como alófanos, geles de alúmina y geles de hierro y sílice (Kohashi, 1980 citado por Gutiérrez y Alcalde, 1984).

La composición química de las arcillas amorfas está constituidas por óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, silicio, silicatos de aluminio y hierro; además de estar hidratados (Wada y Haorwad, 1974), los suelos de ando tienen la particularidad de desarrollar cargas positivas y negativas bajo condiciones ácidas, generalmente por debajo del punto isoeléctrico de la materia orgánica, de los minerales arcillosos y de los hidróxidos de hierro y aluminio. Se acumulan protones a los grupos OH o NH₂, originándose cargas positivas, las cargas negativas del alófano probablemente proviene de la sustitución del aluminio por el silicio a una estructura tetraedro del silicio (Childs, *et al.*, 1991).

Guadalix (1983) indica que algunos iones reaccionan químicamente con los sitios de carga positiva, formando ligaduras químicas. Muchos iones como fluoruros, fosfatos y molibdatos, son muy fuertemente retenidos la razón de esta intensa retención de iones puede atribuirse a la naturaleza de los geles de alofano y la estructura de los iones de silicio ya que todos estos iones presentan cuatro oxígenos ordenados alrededor de un átomo metálico central en una forma muy similar a los átomos de oxígeno o iones hidróxilo alrededor de un tetraedro coordinado de aluminio.

PROPIEDADES DE LOS SUELOS DE ANDO

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de ando son el resultado de la naturaleza y del comportamiento de los componentes del suelo.

FÍSICAS

- a) Son suelos profundos de 50 a 100 cm de profundidad, con estratificación formada por la sedimentación,
- b) las capas superficiales del suelo son de color oscuro, debido al alto contenido de materia orgánica (8-28 %) y la presencia del alofano recién formado,
- c) el suelo es marrón-amarillo y tienen una consistencia semejante a la grasa o el jabón,
- d) las texturas tienden a ser francas en la capa superior y franco-arenoso en el subsuelo,
- e) la densidad de partículas minerales generalmente está entre valores de 2.7-2.9 gr./ml debido a un porcentaje alto (7-8%) de óxido de hierro,
- f) los valores de densidad aparente oscilan entre 0.45-0.75 gr./ml. La magnitud de estos valores es baja, en comparación con los reportados comúnmente de densidad aparente en suelos minerales,
- g) los suelos de ando representan una elevada retención de humedad y una cantidad de agua disponible para la planta (1/3- 15 bars), cuando ésta es expresada en base gravimétrica, debido a la baja densidad aparente de estos suelos las cifras de retención de agua son exageradas,
- h) las arcillas son difíciles de dispersar,
- i) los suelos muestran baja adhesión cuando están mojados,
- j) los suelos muestran una tendencia a expandirse al mojarse y contraerse al secarse,
- k) los suelos muestran irreversibilidad en cuanto a densidad aparente (contracción y la formación de agregados al secarse), la retención de humedad cambia irreversiblemente al secarse al aire.

Por estas y otras características existen problemas en el manejo y el uso de los suelos con altos contenidos de materiales amorfos (Wada y Hoarward, 1974).

QUÍMICAS

Las propiedades químicas más comunes son alta capacidad de fijación de fósforo, alta capacidad de intercambio catiónico, valores de pH bajos, alto contenido de aluminio, bajos contenidos de calcio intercambiable y en ocasiones de magnesio y baja disponibilidad de nutrientes menores.

BIOLÓGICAS

Estos suelos tienen significativamente menor número de microorganismos totales, más bacterias anaerobias y actinomicetos que los suelos de otro origen (Gallardo y Turren 1984; Turren, 1980 citado por Peña, 1984; López, *et al.*, 1985 y Tanaka, 1980).

PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO NUTRICIONAL

Los suelos derivados de cenizas volcánicas presentan problemas desde el punto de vista agrícola. Los problemas pueden ser físicos, químicos o ambos. Los problemas físicos están asociados con la textura, estructura de todo el suelo o de algunas capas en particular. Para poder controlar estos problemas físicos se procede a modificar las propiedades del suelo mediante el cultivo y cambio de estructura, controlando adecuadamente el uso del agua, para lograr lo anterior se hacen prácticas como arar a profundidad para mezclar las capas del suelo, remoción de la capa problema, compactación del suelo, aplicación de arena y mejoramiento del drenaje (Carvajal, 1978).

Los problemas químicos, se dan por la pérdida de bases, la toxicidad de aluminio y la deficiencia de fósforo. El control de los problemas químicos se han hecho con la aplicación de cal, silicatos solubles, fósforo y sustancias orgánicas (Okajima, 1980).

JUSTIFICACIÓN

En los municipios de Villa de Allende, Villa Victoria, Amanalco, Donato Guerra y Valle de Bravo, que pertenecen al Estado de México; los suelos son jóvenes de profundidad media a alta, medianamente fértiles con una excesiva utilización de fertilizantes, uso mecánico, animal y manual se obtienen rendimientos de 2500-4000 kg./ha de maíz, destinado básicamente al autoconsumo, solo una mínima parte al mercado regional y este es uno de los principales ingresos monetario de los campesinos.

Los problemas nutricionales de los cultivos en estos suelos son diversos, se plantea como prioridad la evaluación de la acidez y los factores que la provoca, ésta es responsable de parámetros como: contenidos bajos en fósforo asimilable, nitrógeno, calcio, magnesio y principalmente una baja nitrificación, las propiedades químicas como la acidez, que causa toxicidad de manganeso, hierro y aluminio, esto da como resultado en suelos de baja fertilidad.

La metodología del Levantamiento Nutricional con sus herramientas de análisis químico de suelo y plantas, permite detectar áreas con suministro anormal de algún nutriente que esté limitando la producción del cultivo de maíz, la práctica de ésta técnica proporciona amplia visualización para proponer diferentes líneas de investigación que se aboque a los problemas nutricionales del cultivo.

La región es importante en la producción de maíz a nivel regional, ésta tecnología orientará el uso adecuado de insumos como: fertilizantes, adición de abonos orgánicos (estiércoles) u otros mejoradores químicos de suelo (cal agrícola, roca fosfórica, etc.), también la utilización de semillas mejoradas o en el mejor de los casos las criollas, como consecuencia se tendrá un incremento en los rendimientos del cultivo con adecuado manejo tecnológico y así evitar la contaminación de mantos freáticos por fertilizantes e incrementar la acidez potencial del suelo.

OBJETIVO GENERAL

APORTAR INFORMACIÓN NUTRICIONAL BÁSICA Y APLICADA SOBRE EL CULTIVO DE MAÍZ Y LOS SUELOS DONDE SE CULTIVA, EN LA SUBPROVINCIA GEOGRÁFICA DE MIL CUMBRES, ESTADO DE MÉXICO

OBJETIVOS PARTICULARES

- Cuantificar los niveles de nutrimentos así como características químicas de los suelos.
- Determinar cual es la unidad de suelos más apta para el cultivo de maíz, en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres.
- Evaluar la composición mineral de las plantas de maíz durante la floración para determinar el estado nutrimental y las relaciones de los nutrimentos analizados.
- Analizar la relación entre el contenido nutrimental del maíz y suelo.
- Determinar la secuencia de los elementos que están limitando los rendimientos por el método "Diagnóstico Óptimo Porcentual" (DOP).
- Realizar el levantamiento nutricional de manera cartográfica para delimitar áreas de fertilidad y niveles de abastecimiento nutrimental en maíz, para proponer algunas alternativas de manejo.

ZONA DE ESTUDIO

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA SUBPROVINCIA DE MIL CUMBRES, ESTADO DE MÉXICO.

Se ubica en la parte oriente del Estado de México, forma parte de la provincia geográfica del Eje Neovolcánico. Sus límites están entre los paralelos 19° 00'32'' a 19° 34'22'' de latitud Norte y entre los meridianos 99° 50'48'' a 100° 24'38'' de longitud Oeste, con una altitud que va de 1360 a 2570 msnm.

LIMITES GEOGRÁFICOS Y EXTENSIÓN TERRITORIAL

Al norte limita con Atlacomulco, al sur con la región Tejupilco, al este con el valle de Toluca y al oeste con el estado de Michoacán. Su extensión es de 2000.97 Km², y representa el 8.89 % de la superficie total estatal, los municipios que ocupan un mayor espacio son Villa Victoria, Valle de Bravo y Villa de Allende (Ver mapa 1).

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Las rocas volcánicas datan del terciario y del cuaternario. Existen algunos cuerpos intrusivos de tipo ácido como los granitos y graniodoritos que afloran al norte de Ixtapan del Oro y se relacionan con la mineralización en algunas zonas. En los valles intermontañosos se encuentran sedimentos de grava, arenisca y conglomerados sobre la roca original ígnea se presenta en Villa Victoria, Valle de Bravo, Donato Guerra y Villa de Allende. Las pequeñas formas de metamorfismo provocadas por movimientos bruscos en la corteza terrestre, contienen esquistos y filitas principalmente en Villa Victoria y Villa de Allende.

CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS

El Andosol húmico se presenta en las partes altas de las serranías que circundan a la región principalmente en Valle de Bravo, Donato Guerra, Amanalco, Villa de Allende y Villa Victoria. El Vertisol pélico rodea a la presa de Villa Victoria. El Acrisol ócrico está emplazado en la parte central del Municipio de Valle de Bravo, alrededor de la cuenca de la presa del mismo nombre.

CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

Los relieves más representativos proceden de la Sierra Volcánica Transversal, encontrándose pequeñas planicies sobre las parte altas, valles intermontanos, cañones y cañadas que van de los 2000 a 3100 msnm. Los cerros más altos son el Picacho con 3640 msnm. Pelón con 3500 msnm y El Santuario con 3029 msnm.

VEGETACIÓN

Los bosques templados de pino, encino y oyamel se intercalan con áreas de pastizal introducido para cubrir con las necesidades del pastoreo, estos cubren gran parte de la región del centro, sur y noroeste de Valle de Bravo, Amanalco, Donato Guerra y Villa de Allende.

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

Forma parte de la cuenca del Balsas, con almacenamientos en forma de presas tales como Valle de Bravo con capacidad de 401 000 000.00 m³ además de los de Santo Tomás, Ixtapantongo, Colorines, y Tilostoc, integran lo que anteriormente se conocía como Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán y en la actualidad alimenta al Sistema Cutzamala, cuya finalidad es abastecer de agua para uso urbano-industrial a la Ciudad de México y a los municipios del Valle de Cuautitlan –Texcoco, otros cuerpos de agua de capacidad menor son Laguna Verde, Laguna Seca y Capilla Vieja (INEGI, 1989).

Dentro de ella se tiene una zona de veda elástica que comprende a los municipios de Villa Victoria, Donato Guerra y Villa de Allende, donde es posible incrementar la explotación del agua subterránea con control, predomina en la región una permeabilidad alta debido a las características físicas del suelo (INEGI, 1989).

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

CLIMA TEMPLADO SUBHÚMEDO

Se caracteriza por tener una temperatura media anual de 12°C y 18°C, la precipitación pluvial media anual es mayor de 800 mm. Este clima se presenta al Norte, Centro y Sur de la región. Se localiza en Villa Victoria, Villa de Allende, Valle de Bravo, Amanalco y Donato Guerra (ver fig. 3, 4 5) (INEGI, 1989).

CLIMA SEMI FRÍO

Existen pequeñas porciones de clima semifrío en Villa de Allende, Villa Victoria y Amanalco (ver fig. 3 y 4).

RECURSOS NATURALES

USO ACTUAL DEL SUELO

Junto con la región de Tejupilco es la más baja en cuanto a superficie agrícola, ya que dispone de 76 722.91 hectáreas para este fin y su participación en el total estatal es de 8.3 %. De éstas, 8 329.79 hectáreas son de riego, repartidas en los municipios de Valle de Bravo, Amanalco y Donato Guerra, y 68 393.12 hectáreas de temporal repartidas en los municipios de Villa Victoria, Villa de Allende, Donato Guerra y Amanalco, éste ultimo utiliza 41, 645.84 hectáreas de uso pecuario, de éstas, 41 575.87 hectáreas corresponden al extensivo y sólo 69.97 hectáreas al intensivo, con porciones de regular tamaño con pastizal inducido en los municipios de Villa Victoria y Amanalco.

La superficie forestal es de 70 360.29 hectáreas, corresponde al 9.6 % del uso forestal estatal, está cubierta en su mayoría por bosque de pino-encino principalmente en los municipios de Valle de Bravo y Donato Guerra, de pino oyamel en Amanalco (INEGI, 1989).

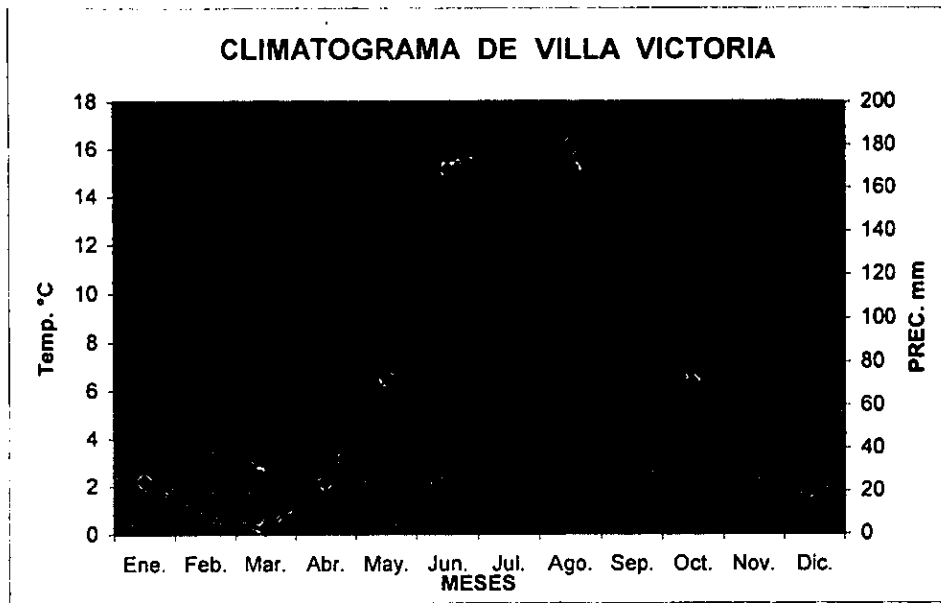


Fig. 3. Características climáticas de Villa Victoria, Estado de México.

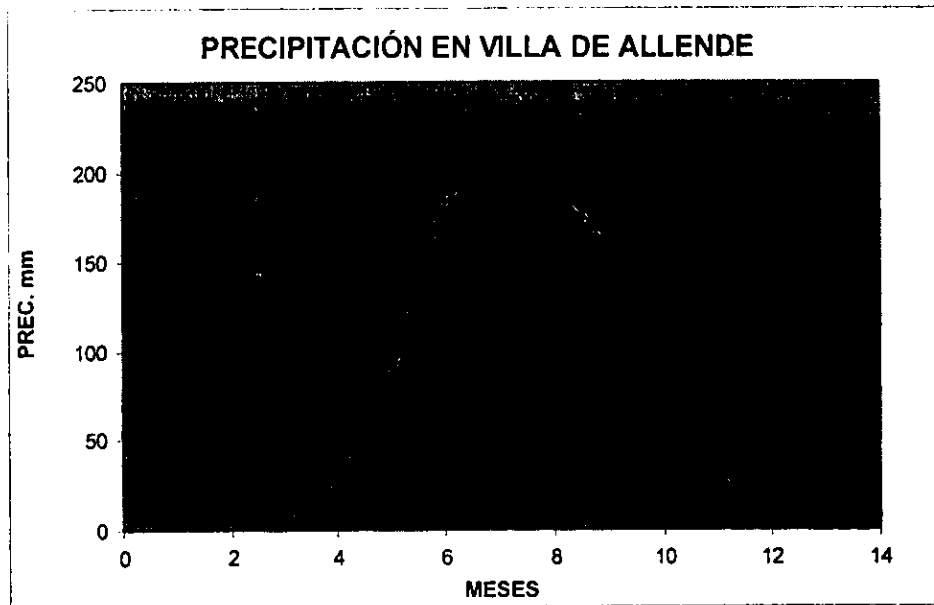


Fig. 4. Precipitación en el municipio de Villa de Allende, estado de México.

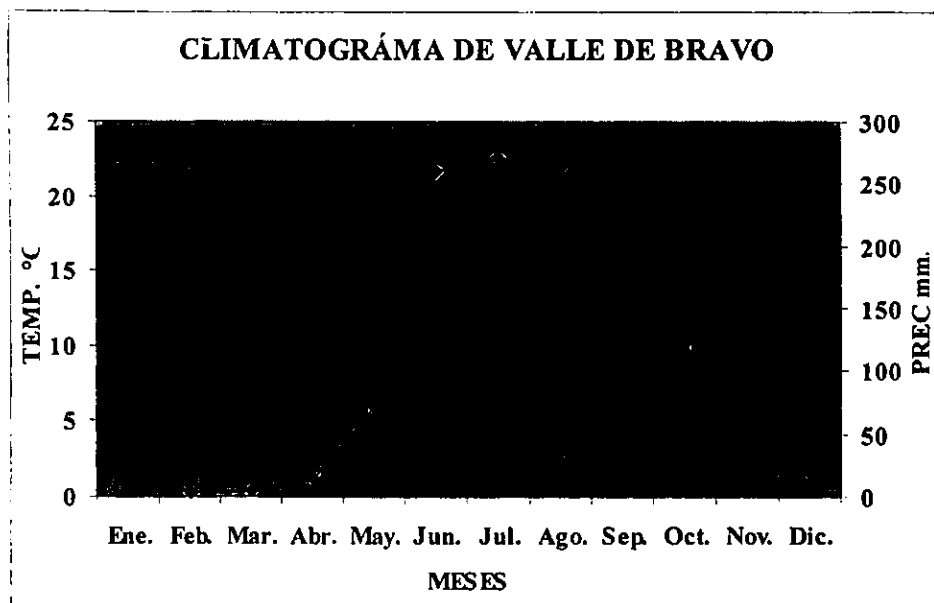


Fig. 5. Climatograma del municipio de Valle de Bravo.

La pérdida de suelo se detecta en 2,185.11 hectáreas, en tanto que, a cuerpos de agua corresponden 5,091.43 hectáreas, a zonas urbanas 1, 335.59 hectáreas y a otros usos corresponde 2,755.92 hectáreas (INEGI, 1989).

POTENCIALIDAD DE USO AGRÍCOLA, PECUARIO Y FORESTAL DEL SUELO

Las posibilidades de uso agrícola las conforman los suelos aptos para desarrollar dos tipos de agricultura continua: la mecanizada y la manual. La mecanizada se presenta principalmente en los municipios de Villa Victoria y Villa de Allende y la manual en Valle de Bravo y Amanalco. Ambas tienen aptitud media en el logro de cultivos y la labranza, pero difieren en la aplicación de riego, ya que mientras en una es media, en la otra es baja.

En cuanto a las posibilidades de uso pecuario, la región tiene suelos que se utilizan para la agricultura, actualmente poseen aptitud media para especies forrajeras y de pastizal, ubicándose las áreas mayores en Villa Victoria y Villa de Allende. Cuenta también con suelos donde la vegetación natural puede ser aprovechada únicamente por el ganado caprino, las zonas más importantes están en los municipios de Valle de Bravo y Amanalco.

HIPÓTESIS

La baja disponibilidad de nitrógeno, alta fijación de fósforo, acidez, deficiencia de calcio y magnesio, toxicidad por aluminio, hierro y manganeso son factores que limitan los rendimientos del cultivo de maíz en suelos ácidos de la Subprovincia de Mil Cumbres en el Estado de México.

Al determinar las características edáficas de la zona, estas inducen la presencia de deficiencias nutricionales en maíz, principalmente se presentan en nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, éstas anomalías en la nutrición del cultivo provocan que algunas relaciones nutrimentales sean inadecuadas para obtener los máximos rendimientos promedio de la zona.

Los Andosoles, por sus características químicas y mineralógicas, limitan en mayor grado los rendimientos del cultivo de maíz en la zona de estudio.

Por las técnicas utilizadas se determinará que el nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio son los elementos que están limitando el cultivo de maíz.

Con el levantamiento nutricional se detectan las deficiencias de cada nutriente analizado y éstos a su vez impiden un buen desarrollo de maíz, y por lo tanto se proporcional la información necesaria para limitar áreas de abastecimiento en mapas cartográficos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la toma de muestras de suelo, se seleccionaron aleatoriamente 143 sitios, (mapa 2) en parcelas de cultivo con maíz en la región del Estado de México de la Subprovincia de Mil Cumbres. Se tomaron entre 15-20 submuestras de suelo en zig-zag para formar una muestra compuesta considerando la capa arable (0-30cm). Durante la época de floración femenina que comprende los meses de agosto y septiembre, se tomaron de diversas plantas entre 15 y 25 hojas opuestas al nudo inferior de la floración en cada una de las parcelas en las que se tomó muestra de suelo. Posteriormente se secaron y lavaron dichas hojas.

Se considera que el número de muestras es adecuado, pues la cobertura del muestreo (suelo y planta), representa (>85%) de las características topográficas, climáticas, unidades taxonómicas edáficas y la utilización de maíz criollo y/o semilla mejorada en la zona de estudio.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE MUESTREO

Mayor peso específico de la toma de muestras ocurre en los municipios con más superficie dedicada al cultivo de maíz y se ubican, en la zona norte de la región; Villa Victoria, Villa de Allende y Donato Guerra. En Amanalco y Valle de Bravo, a pesar de su gran superficie total, el área dedicada a la agricultura y en especial al cultivo de maíz es reducida, ya que el mayor peso específico de sus actividades económicas es la ganadería, turismo y silvicultura. (Cuadro 7) (SEDAGRO, 1995).

Las unidades de suelo donde se recolectaron las muestras son los siguientes: Litosol, Vertisol, Acrisol y Andosol (INEGI, 1989). En estos últimos por ser dominantes se concentraron el mayor peso del muestreo. Le siguen los Acrisoles en importancia que son considerados como suelos ácidos (Aguilar *et al.*, 1993). La acidez se considera como limitante importante para la producción de maíz (Pérez *et al.*, 1990). Los rendimientos de maíz van de 1.5 a 4.5 t/ha (Cuadro 7).

ANÁLISIS DE SUELO

El suelo se secó al aire y se tamizó utilizando un tamiz de malla de 2 mm posteriormente se realizaron los análisis químicos respectivos:

- pH se determinó en relación 1:2.5 en agua y en cloruro de calcio 0.01M,
- Materia orgánica (Walkley y Black en la forma descrita por Jackson, 1964),
- Fósforo disponible se determinó por Olsen y Dean (1965),
- Cationes intercambiables, se realizó la extracción con acetato de amonio 1N pH 7.0 (relación 1:5), determinado por el método del versenato por volumetría con EDTA (método de Cheng y Bray modificado por Pech, 1945 citado por Chapman, 1965),
- Calcio y magnesio se realizó la extracción con acetato de amonio 1N pH 7.0 (relación 1:5), se determinó por volumetría con EDTA (Método de Cheng y Bray modificado por Pech, 1984),
- Potasio por flamometría de llama (Chapman, 1965),
- Nitrógeno se sometió a una digestión semi-microkjeldahl, para incluir nitratos, determinando así nitrógeno total (Bremner, 1965),
- Aluminio extractable por acetato de amonio 1N pH 4.8 según Mclean (1982) y determinado por espectroscopia de absorción atómica,

- Conductividad eléctrica en un extracto relación suelo-agua (1:5),
- Porcentaje de fijación de fósforo (Blakemore *et al.*, 1977),
- Acidez hidrolítica (Kaurichev, 1984),
- Hierro, cobre, manganeso y zinc fueron extractados con DTPA y determinados por espectrofotometría de absorción atómica (Lindsay and Norvell, 1991).

CUADRO 7. Distribución y representatividad del muestreo de suelo y tejido vegetal (hoja opuesta a la mazorca durante la etapa de floración femenina "jilote").

	SUPERFICIE TOTAL (Ha)	SUPERFICIE CULTIVADA CON MAÍZ (Ha)	No. DE MUESTRAS	% ÁREA REPRESENTADA	UNIDAD. DE SUELO %	REND. DE MAÍZ (Ton/ha)
VILLA VICTORIA	42,402.93	20,484.0	49	90.0%	An. 53.30% Ac. 24.4% Feo. 14.3% Ver. 8.00%	3.939.42
VILLA DE ALLENDE	32,229.23	18,200.0	45	90.0%	An. 93.34% Ac. 6.66%	4.301.12
DONATO GUERRA	19,218.98.	9,250.0	17	85.0%	An. 94.1% Ac. 5.9%	4550.16
AMANALCO	21,949.31	7,551.0	17	80.0%	An. 100%	3642.57
VALLE DE BRAVO	42,194.89	5,300.0	15	80.0%	Ver. 46.6% An. 20.0% Ac. 20.0% Lit. 13.34%	3476.57
TOTAL	157,99534 Ha	60,700.0 Ha	143	MEDIA 85%		3,596 Kg./Ha
An. Andosoles, Ac. Acrisoles, Feo. Feozems, Ver. Vertisol y Lit. Litosol.						

ANÁLISIS DE PLANTA.

Las hojas enteras se colocaron en bolsas de papel y se secaron en estufa a temperatura de 65-80°C hasta alcanzar peso contante, posteriormente se procedió a molerlas y pasarlas por un tamiz de malla 20, se realizó una digestión húmeda triácida con ácidos sulfúrico, perclórico y nítrico y se determinaron los siguientes nutrimentos.

- Fósforo por el método vanadato-molibdato, (Citado por Chapman, 1981),
- Potasio , por flamometría de llama. (Citado por Chapman, 1981),
- Nitrógeno por digestión semi-microkjeldahl modificado para incluir nitratos (Bremner, 1965),
- Calcio, magnesio, cobre, zinc, hierro y manganeso, por espectroscopia de absorción atómica (Lindsay y Norved 1978).



Mapa 1. Ubicación de los sitios de muestreo de suelo y tejido vegetal.

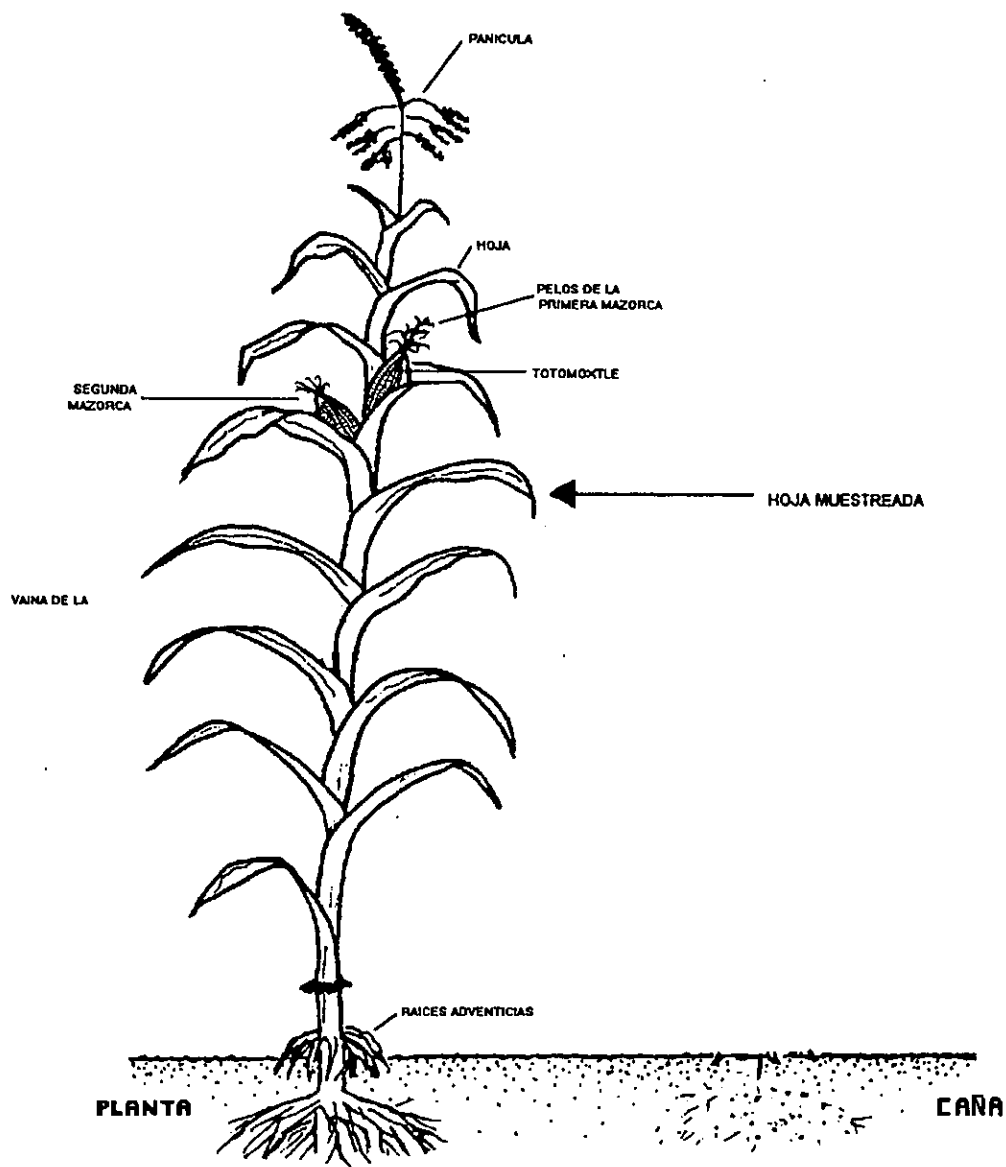


Fig. 6. Hoja muestreada de la planta de maíz (opuesta posterior a la mazorca en la etapa de jiloteo).

Los resultados del análisis vegetal de cada elemento se agruparon en cuatro clases: deficiente, bajo, suficiente, alto y tóxico (Etchevers *et al.*, 1985). Las concentraciones de estos elementos se asociaron con los niveles detectados en suelo y entre sí, estableciendo relaciones para comprender el fenómeno de la nutrición de la planta de maíz (ver cuadro 8).

Con base al cuadro anterior, se realizaron comparaciones con las concentraciones observadas de cada muestra, se clasificaron por municipio y unidad de suelo. El balance de los principales nutrimentos fue también comparada con el cuadro 35 que es resultado de las diferentes combinaciones de los intervalos (deficiente, bajo, suficiente, y alto) del cuadro 8, a cada intervalo se obtuvo la media y se realizó una división y el cociente se le clasificó conforme al nivel utilizado, también se emplea el nivel crítico como punto de referencia en la comparación.

Se realizó la desviación del óptimo porcentual (DOP), que es un método estadístico donde usa la comparación de la concentración del elemento respecto de la norma (media del nutriente), pero en expresión porcentual. De esta manera nos permitió una clasificación u ordenamiento de los nutrientes en función de su estado limitante.

Cuadro 8. Clases nutrimentales del maíz establecidos para las concentraciones de los elementos en la hoja opuesta a la mazorca, durante el inicio de la floración femenina (jilote) (Etchevers, *et al.*, 1985).

Elemento %	Nivel				Nivel Crítico
	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	
Nitrógeno	<1.80	1.80-2.60	2.61-3.50	>3.50	3.00
Fósforo	<0.11	0.11-0.25	0.26-0.45	>0.45	0.25
Potasio	<1.00	1.00-1.70	1.71-2.71	>2.71	1.90
Calcio	<0.20	0.20-0.40	0.41-1.00	>1.00	0.40
Magnesio	<0.10	0.10-0.20	0.21-0.50	>0.51	0.25
MICRONUTRIMENTOS (ppm)					
Cobre	<3	3-7	8-20	>20	
Zinc	<10	10-35	36-120	>120	
Manganeso	<10	10-27	18-175	>175	
Hierro	<10	10-20	21-250	>251	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SUELO.

Se presentan los resultados y discusión, de los análisis de suelo en 143 muestras compuestas colectadas en los municipios de (Villa de Allende, Villa de Allende, Amanalco, Donato Guerra y Valle de Bravo) pertenecientes a la Subprovincia de Mil Cumbres correspondiente al, Estado de México.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La mayoría de los suelos de la Subprovincia geográfica de Mil Cumbres tienen baja conductividad eléctrica $0.018 \mu\text{S}$, son cantidades normales para los pH presentes en los suelos estudiados, con un mínimo de $0.022 \mu\text{S}$ y un máximo $0.717 \mu\text{S}$ (ver cuadro 9), los valores mínimos se obtuvieron en muestras que se tomaron en los meses de agosto y septiembre, que es la época donde las lluvias son más intensas, en comparación con los más altos que fueron colectados de marzo a junio lo que indica que las pérdidas de bases intercambiables y solubles en ésta época es mínima, la lluvia es uno de los principales factores que disminuye los niveles de cationes del suelo en Andosoles de Japón, que es una característica de zonas húmedas lo que provoca un lavado de bases hasta un 10% de saturación (Shoji, *et al.*, 1993).

pH

La reacción del suelo es una de las características químicas importantes que determina muchas de sus propiedades físicas químicas y biológicas. Su adecuación como un medio para el desarrollo de las plantas y microorganismos deseables dependen de que el suelo sea ácido, neutro o alcalino (Tamhane *et al.*, 1983). Los suelos de la zona de estudio, son de naturaleza ácida, (5.67 pH H_2O y 5.19 en CaCl_2 0.01 M), nivel considerado como moderado y fuertemente ácido respectivamente (Trinidad, 1991) (Ver cuadro 9). La susceptibilidad de los suelos estudiados conforme a los valores obtenidos indica que los procesos de acidificación aumenta en parte con las actividades agrícolas, incrementa la disponibilidad de elementos tóxicos para las plantas que crecen en estos suelos y también influye en los procesos biológicos, como la actividad de los microorganismos y así como otras actividades ocurrientes en el suelo, como medio natural repercute en otros procesos químicos que afecta la retención de iones en las interfaces sólido - líquido y metales en solución (Ulrich, 1952 y Sumner, 1979). Entre otros factores que intervienen en la acidificación es la presencia de ácidos orgánicos y disociación de ácidos débiles de grupos funcionales (carboxil y fenólicos) estos últimos con reacción más ácida, son conocidos por el incremento de la relación en protones en la solución del suelo y por lo tanto el decremento del pH, se estimula el desplazamiento de la hidrólisis del agua por parte del aluminio Al^{3+} , que desprende 3H^+ libres a la solución del suelo que es una fuente importante de protones. Courchesene, *et al.*, (1995), menciona que provoca por otro lado los iones de reemplazo sustituyen a las bases intercambiables por protones e iones de Al^{3+} , resultado de percolaciones, de cationes básicos, por la absorción de plantas y por el uso de fertilizantes de reacción ácida (Aguilar *et al.*, 1993; Shoji *et al.*, 1991; y Nuñez, 1985).

Cuadro 9. Valores medios, mínimos, máximos, desviación estándar y caracterización de los suelos de la Subprovincia de Mil Cumbres, Estado de México.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CLASIFICACIÓN *ESTIMADO
pH 1:2.5 H ₂ O	3.92	7.20	*5.67	1.64	Medianamente ácido Trinidad, S., 1991
pH 1:2.5 CaCl ₂ 0.01 M	3.90	6.59	*5.19	1.34	Fuerte mente ácido Trinidad, S., 1991
NITRÓGENO (%)	0.011	1.0	0.286	6.00	Extremadamente Rico Trinidad, S., 1991
MATERIA ORGÁNICA (%)	1.52	12.92	*6.80	5.70	Extremadamente Rico Trinidad, S., 1991
CIC Cmol ⁺ /Kg.	12.84	48.13	*27.03	7.866	Alto Cottenie, 1980
MAGNESIO Cmol ⁺ /Kg.	0.01	10.84	*3.29	1.343	Bajo-Intermedio Etchevers <i>et al.</i> , 1991
CALCIO Cmol ⁺ /Kg.	0.90	18.86	*7.20	2.695	Bajo-Intermedio Etchevers <i>et al.</i> , 1971
POTASIO (ppm)	4.0	1056.0	*315.0	144.0	Rico Trinidad, S., 1991
RETENCION DE FÓSFORO (%)	12.47	94.07	*60.88	41.30	< 60% ** Cruz H., 1988
FÓSFORO (OLSEN) (ppm)	0.215	78.75	*13.38	5.08	Extremadamente-Pobre Trinidad, S. 1991
ALUMINIO (ppm)	1.52	481.3	*149.2	73.4	
ACIDEZ HIDROLITICA meq. H ⁺ /100g Suelo	0.4198	2.0993	*0.948	0.208	
C.E. μS	0.022	0.717	*0.018	0.369	Sin Problemas de Salinidad Trinidad, S. 1991
ZINC (ppm)	0.114	15.20	*3.042	1.269	Adecuado Vietz y Lindsay 1973 Citado por Pérez <i>et al.</i> , 1990.
FIERRO (ppm)	4.28	168.80	*37.71	5.782	Adecuado Vietz y Lindsay 1973 Citado por Pérez <i>et al.</i> , 1990.
COBRE (ppm)	0.0032	10.38	*1.39	0.404	Adecuado Vietz y Lindsay 1973 Citado por Pérez <i>et al.</i> , 1990.
MANGANESO (ppm)	0.18	127.3	*23.48	8.53	Adecuado Vietz y Lindsay 1973 Citado por Pérez <i>et al.</i> , 1990.

*Promedio de 143 muestras de suelo. **Condiciones Andicas.

Los valores representativos de pH para Andosoles se ubican en los municipios de Villa de Allende y Villa Victoria 4.92-5.60 H₂O 1:2.5, por lo que se clasifican de moderadamente ácidos a muy ácidos (Aguilar, 1993), son valores más ácidos que los encontrados en la región de Tancitaro, Michoacán, México; reportado por Alvarado y Cajuste (1993). Los suelos más ácidos son los Acrisoles con valores medios de 4.22 H₂O 1:2.5, Los Feozems 5.21, muy ácido, Leptosol 6.94, neutro y Vertisoles 6.28, ligeramente ácido se incluyen en moderadamente ácidos a neutros; valores semejantes se han encontrado en municipios del norte del Estado de México por Alvarado (1991), en Vertisoles pélicos y Feozem háplicos (Cuadro 10).

Cuadro. 10. Nivel de acidez de los suelos de los municipios del Estado de México en la región de la Subprovincia geográfica de Mil Cumbres.

MUNICIPIO	NIVEL (Jones y Wolf, 1984)	# MUESTRAS	% DEL AREA MUNICIPAL.
VILLA VICTORIA	MUY ÁCIDO	39	79.59
	ÁCIDO	9	18.36
	NEUTRO	1	2.04
TOTAL	--	49	100%
VILLA DE ALLENDE	MUY ÁCIDO	24	53.33
	ÁCIDO	16	35.55
	LIGERAMENTE ÁCIDO	5	11.11
TOTAL	--	45	100%
DONATO GUERRA	MUY ÁCIDO	8	47.05
	ÁCIDO	6	35.29
	LIGERAMENTE ÁCIDO	3	17.64
TOTAL	--	17	100%
AMANALCO	MUY ÁCIDO	8	47.05
	ÁCIDO	6	35.29
	LIGERAMENTE ÁCIDO	3	17.64
TOTAL	--	17	100%
VALLE DE BRAVO	MUY ÁCIDO	4	26.66
	ÁCIDO	2	13.33
	LIGERAMENTE ÁCIDO	6	40.00
	NEUTRO	3	20.0
TOTAL	--	15	100%

Para el municipio de Villa Victoria, el valor promedio de pH es 5.05 H₂O 1:2.5 para la región que representa el 80% de los suelos son muy ácidos ya que su pH es inferior a 5.5 y el 18 % son moderadamente ácidos. En Villa de Allende el 53% de los suelos analizados son muy ácidos, el 36% ácidos y el 11% ligeramente ácidos. En el municipio de Donato Guerra el 41% son ligeramente

ácidos, el 35% muy ácidos y el 18 % ácidos. En Amanalco, el 47% corresponden a suelos de tipo muy ácidos, el 35% ácidos y el 18% ligeramente ácidos. Para el Valle de Bravo, los suelos ligeramente ácidos representan el 40% de los tipo muy ácido el 27% (Jones y Wolf, 1984) (Cuadro 11).

La acidez de los Andosoles se ve amortiguada por su origen mineral y los altos contenidos de materia orgánica por lo que sus valores no fluctúan demasiado debido a su poder buffer, que es una de las características importantes que limitan la producción de los cultivos en Andosoles, esta toxicidad es atribuible al aluminio que puede ser sensible al crecimiento de raíces, disponibilidad del nitrógeno y agua dada la sensibilidad del cultivo que reducen considerablemente los rendimientos en suelos de Ando y esto depende drásticamente de la acidez del subsuelo (Saigusa and Nanzyo, 1996; Huang *et al.*, 1995).

Cuadro 11. Nivel de acidez para las diferentes unidades de suelo presentes en la Subprovincia de Mil Cumbres Estado de México.

MUNICIPIO	UNIDAD DE SUELO	Jones y Wolf, 1984	
		pH H ₂ O Promedio NIVEL	pH CaCl ₂ NIVEL PROMEDIO
VILLA VICTORIA	ANDISOL	5.43 (muy ácido)	4.92 (muy ácido)
	FEOZEM	5.21 (muy ácido)	4.67(muy ácido)
	VERTISOL	4.74 (muy ácido)	4.17 (muy ácido)
	ACRISOL	4.85 (muy ácido)	4.40 (muy ácido)
DONATO GUERRA	ANDISOL	4.67 (muy ácido)	4.67 (muy ácido)
	ACRISOL	4.67 muy ácido)	4.67 (muy ácido)
DONATO GUERRA	ANDISOL	4.67 (ácido)	4.67 (muy ácido)
AMANALCO	ANDISOL	4.67 (muy ácido)	4.67 (muy ácido)
VALLE DE BRAVO	ACRISOL	4.67 (ácido)	4.67 (ácido)
	VERTISOL	4.67 (ligeramente ácido)	4.67(ácido)
	LITOSOL	6.28 (neutro)	5.7(ligeramente ácido)
	ANDISOL	5.79 (Ácido)	6.27 (ligeramente ácido)

Una actividad que incrementa la acidez en los suelos es la adición de algunos fertilizantes nitrogenados entre los que destacan el sulfato de amonio y la urea. Los paquetes tecnológicos recomendados a esta región consideran la aplicación de estos en dosis de 80 a 100 kg./ha (SEDAGRO, 1996). Aguilar *et al.*, (1992) reportan que el sulfato de amonio es el fertilizante con mayor reacción ácida, siguiendo el amoníaco anhídrido y urea que se consideran como una fuente importante en la acidificación en estos suelos (González, 19884). Un aspecto muy importante sobre el proceso que interviene la acidez del suelo es la formación y estabilización de alófano a imogolita que depende fuertemente del pH en H₂O < 4.9. En algunas regiones con valores semejantes y si el alófano ocurre frecuentemente bajo un régimen de húmedo ústico, puede indicar la transformación

de alófano a imogolita y si se tiene evidencias de la predominancia de Al-humus. (Bäumler y Zech, 1994). También la formación de complejos organominerales con pequeños porcentajes de fracciones de aluminosilicato se controla principalmente por el pH del suelo (Shoji y Fujikiwara, 1984).

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.

El intercambio catiónico (CIC) es el sistema natural de "trueque" mediante el cual las raíces de la planta obtiene ciertos iones nutrimentales cargados positivamente tales como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), amonio (NH_4^+) hidrógeno (H^+) y el aluminio (Al^{3+}) que intervienen en la Capacidad Intercambio catiónico total. La capacidad de intercambio catiónico total en la zona, es alta con una media $27.03 \text{ Cmol}^+/\text{Kg}$ (ver cuadro 9), para suelos con carga variable que altamente dependen del material arcilloso y de la abundancia de los minerales que poseen características anfóteras, entre estos se encuentran los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio en sus diversas formas cristalinas, amorfas y por otra parte los constituyentes orgánicos del suelo en especial las sustancias húmicas son predominantes en estos suelos de origen volcánico tal como lo reporta Cottenie (1980). La ionización depende de las condiciones del suelo en esta zona, los grupos arcillosos que predominan aceptan o liberan protones de acuerdo con los cambios producidos por el pH de la solución; los Andosoles presentan el valor más alto con $28.86 \text{ Cmol}^+/\text{Kg}$. (cuadro 12) en promedio. Los Andosoles de los municipios de Amanalco y Donato Guerra exhiben los valores más altos (31.29 y $31.49 \text{ Cmol}^+ \text{ Kg}^{-1}$) y los Acrisoles con ($26.23 \text{ Cmol}^+/\text{Kg}$), son suelos íntimamente relacionados en su comportamiento químico entre los que destaca el pH, acumulación de materia orgánica, retención de fósforo, características que se relacionan con la capacidad de intercambio catiónica total y efectiva (Guadalix, *et al.*, 1983; Blakemore, *et al.*, 1977).

Cuadro 12. Clasificación de los suelos de acuerdo a la Capacidad de Intercambio Catiónico por municipio

MUNICIPIO	UNIDAD DE SUELO	CIC ($\text{Cmol}^+ \text{ Kg}^{-1}$)	NIVEL (COTTENIE, 1980)
VILLA VICTORIA	ANDISOL	29.17	ALTO
	FEOZEM	21.56	ALTO
	VERTISOL	22.43	ALTO
	ACRISOL	22.45	ALTO
VILLA DE ALLENDE	ANDISOL	30.93	ALTO
	ACRISOL	26.48	ALTO
DONATO GUERRA	ANDISOL	31.29	ALTO
AMANALCO	ANDISOL	31.94	ALTO
VALLE DE BRAVO	ACRISOL	23.86	ALTO
	VERTISOL	29.36	ALTO
	LITOSOL	21.83	ALTO
	ANDISOL	22.64	ALTO

El (cuadro 12), denota que todos los suelos (100% de las muestras) presentan una capacidad de intercambio catiónica alta según (Cottenie, 1980), lo que supone la presencia de minerales amorfos que intervienen íntimamente en está propiedad del suelo, lo cual es una limitación en la fertilidad del mismo y de su respuesta potencial al manejo de bajas concentraciones de iones básicos (Ca^+ , Mg^+ , y K^+) y alto porcentaje de Aluminio e Hidrogeno en el complejo de cambio.

Cuadro 13. Clasificación del contenido de calcio en los suelos por municipios de la Subprovincia de Mil Cumbres Estado de México.

MUNICIPIO	NIVEL (Etchevers, 1971)	# MUESTRAS	(%) DEL AREA DEL MUNICIPIO
VILLA VICTORIA	MUY BAJO	4	8.16
	BAJO	23	46.00
	MEDIO	20	40.81
	ALTO	2	4.08
	TOTAL	49	100 %
VILLA DE ALLENDE	MUY BAJO	5	11.11
	BAJO	19	42.22
	MEDIO	17	37.77
	ALTO	3	6.66
	TOTAL	42	100 %
DONATO GUERRA	MUY BAJO	0	0.00
	BAJO	3	17.64
	MEDIO	8	47.05
	ALTO	6	35.29
	TOTAL	17	100 %
AMANALCO	MUY BAJO	1	5.88
	BAJO	8	47.05
	MEDIO	7	41.17
	ALTO	1	5.88
	TOTAL	17	100 %
VALLE DE BRAVO	MUY BAJO	0	0.00
	BAJO	1	6.66
	MEDIO	6	40.00
	ALTO	8	53.33.
	TOTAL	15	100 %

Los cationes intercambiables presentes en estos suelos muestran una dominancia de Al entre 30 y 50% en los sitios de capacidad de cambio en el horizonte superficial del suelo. La baja saturación de bases, con bajo contenidos de cationes intercambiables (Excepto Al^+ y H^+), en condiciones de bajos valores de pH en estos municipios son causados por el material parental ácido y un alto desplazamiento de bases dada por la elevada precipitación de verano y un buen drenaje del suelo (Bäumler, Zech y Wolfgang, 1994).

Si comparamos la capacidad de intercambio catiónica efectiva con la total, manifiesta una de las características de baja fertilidad de estos, sin embargo, afirma las condiciones andicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la Subprovincia de Mil Cumbres, debe realizarse la prueba de $Al_{ox} + Fe_{ox} + \%$ de vidrio volcánico (Soil Survey Staff), las características son similares a lo reportado por Aguilar (1995) y Etchevers *et al.*, (1985) en la Sierra Tarasca Mich. y los Andisoles de Perote Ver. reportado por Cruz *et al.*, (1996) García y Hernández (1994), en Andisoles del Estado de México.

CALCIO

En los municipios de Villa Victoria y Villa de Allende, los más importantes para el cultivo de maíz, los suelos se han acidificado aun más por su uso intensivo, sin aplicación de agentes neutralizantes como cal o dolomita, que repongan las pérdidas de Ca y Mg. Otras fuentes que repercuten en la acidez son la remoción de bases por el cultivo y su lixiviación. Los niveles en calcio $7.20 \text{ Cmol}^+/\text{Kg}$, de suelo y magnesio con $3.294 \text{ Cmol}^+/\text{Kg}$, de suelo. (ver cuadro 9), se comporta al igual que calcio. Los municipios como Villa Victoria 54.16 %, Villa de Allende 53.35% y Amanalco 52.93% tienen problemas de abastecimiento en calcio en total de su superficie, para los diferentes cultivos que se practican en la zona. La unidad edafológica que tiene mayor deficiencia son los Acrisoles con un promedio $4.875 \text{ Cmol}^+/\text{Kg}$, de suelo, le siguen los Andisoles con el valor más bajo de $4.88 \text{ Cmol}^+/\text{Kg}$, de suelo (cuadro 13 y 14), se consideran como moderadamente deficiente, y es uno de los principales problemas que limitan la producción agrícola en esta región, los problemas relacionados con la acidez son las deficiencias de nutrimentos tales como calcio, magnesio molibdeno y fósforo, reportado por Alvarado, (1991) y Etchevers, (1971).

Los municipios donde hay necesidad de aplicar calcio y magnesio en encalados, son Villa de Allende y Villa Victoria, los bajos niveles se deben a las actividades agrícolas y características edáficas de la zona. En un estudio, Alvarado (1995), reportó que la aplicación de cal, tiene efectos significativos sobre el pH del suelo, aumentó la disponibilidad en fósforo del suelo a pH 6.0 a neutralidad y este favorece los índices de magnesio y potasio. Los bajos valores de calcio y magnesio limitan la adecuada nutrición del cultivo de maíz, en Villa de Allende (García y Hernández 1994)

En el municipio de Villa Victoria el 54.16 % los suelos tienen un contenido bajo en calcio y el 41% lo presentan en un nivel medio. En villa de Allende hay un comportamiento similar 42 % y 38 % como bajo y medio respectivamente, además el 11 % como muy bajo de este elemento (cuadro 13). Solo menos del 10 % de los suelos están con buen nivel principalmente en los suelos con mayor explotación agrícola en la zona de estudio.

Cuadro 14. Clasificación y contenido de calcio por unidad de suelo en cada municipio en la Subprovincia de Mil Cumbres.

MUNICIPIO	UNIDAD DE SUELO	Ca cmol ⁺ Kg ⁻¹	NIVEL (Etchevers, 1971)
VILLA VICTORIA	ANDISOL	4.88	BAJO
	FEOZEM	3.82	BAJO
	VERTISOL	7.07	MEDIO
	ACRISOL	4.88	BAJO
VILLA DE ALLENDE	ANDISOL	5.36	MEDIO
	ACRISOL	4.87	BAJO
DONATO GUERRA	ANDISOL	8.53	MEDIO
AMANALCO	ANDISOL	6.07	MEDIO
VALLE DE BRAVO	ACRISOL	6.75	MEDIO
	VERTISOL	11.00	ALTO
	LITOSOL	13.14	ALTO
	ANDISOL	12.02	ALTO

Los suelos en el municipio Donato Guerra presentan contenido medio de calcio y alto en el 35% de su área cultivable, Amanalco por su parte tiene el 47% de los suelos bajos en calcio, mientras que los suelos que no tienen alta exigencia de enclados se ubican en Valle de Bravo con 53% y 40% de sus suelos se colocan en el nivel alto y medio en calcio respectivamente (cuadro 13).

MAGNESIO

El bajo nivel de magnesio que contiene el suelo, problema no menos importante en esta zona, presenta tendencia similar de comportamiento al calcio. En Villa Victoria y Villa de Allende 55% y 53% respectivamente de los suelos requieren aplicación de magnesio, en Donato Guerra, en cambio, tiene el 53% alto contenido y solo el 35% se puede clasificar como nivel medio. Amanalco el 47.05% nivel medio y el 52.94 como alto de magnesio respectivamente y Valle de Bravo con el 80% como contenido alto, el municipio que no se tiene necesidad de aplicar magnesio a sus parcelas que se cultivan maíz (Cuadro 15).

En general, para las diferentes unidades de suelo en los cinco municipios no se tienen deficiencias en magnesio (cuadro 16). Esta característica está en función de la forma de intensidad con que es explotado el suelo. Los Andosoles de Valle de Bravo alcanzan los valores más altos 9.42 cmol⁺Kg⁻¹ y los Vertisoles de Villa Victoria con 1.84 cmol⁺Kg⁻¹ los más bajos y esto nos indica que los suelos con mayor actividad agrícola tienen menos magnesio disponible para los cultivos.

Cuadro 15. Clasificación de los suelos analizados en cada municipio con respecto a su contenido de Magnesio.

MUNICIPIO	NIVEL (Etchevers, 1971)	# MUESTRAS	%
VILLA VICTORIA	MUY BAJO	5	10.20
	BAJO	3	6.12
	MEDIO	27	55.10
	ALTO	14	28.57
	TOTAL	49	100 %
VILLA DE ALLENDE	MUY BAJO	3	6.66
	BAJO	6	13.13
	MEDIO	24	53.13
	ALTO	11	24.44
	TOTAL	44	100 %
DONATO GUERRA	BAJO	2	11.76
	MEDIO	6	35.29
	ALTO	9	52.94
	TOTAL	17	100 %
AMANALCO	MUY BAJO	1	5.88
	BAJO	1	5.88
	MEDIO	8	47.05
	ALTO	9	52.94
	TOTAL	19	100 %
VALLE DE BRAVO	MUY BAJO	0	0.00
	BAJO	0	0.00
	MEDIO	3	20.00
	ALTO	12	80.00
	TOTAL	15	100 %

ACIDEZ HIDROLÍTICA.

La acidez hidrolítica es una estimación de la acidez potencial de un suelo y equivale a la cantidad de H^+ en la solución del suelo más aquella que se libera de los coloides del suelo al agregar sales fertilizantes u otra fuente de acidez (Kaurichev, 1980). Al relacionar los requerimientos de cal con acidez hidrolítica $0.9483 \text{ cmol } H^+/\text{Kg. suelo}$ (ver cuadro 9) en la Subprovincia de Mil Cubres, se

observa que para neutralizar la acidez, se necesita de 0.5-2.5 ton/ha de CaCO_3 , los requerimientos más altos de encalado se tienen en los municipios de Villa de Victoria donde la acidez hidrolítica tiene un valor promedio de $1.1257 \text{ Cmol}^+ \text{ H/kg}$. y Villa de Allende con $1.087 \text{ Cmol}^+ \text{ H/kg}$. Para establecer un programa de encalado de forma más puntual en estos lugares, además debe considerar otros métodos analíticos según el fin que se desee; las necesidades de cal varían de un suelo a otro debido a su naturaleza del cultivo a sembrar, otros factores que intervienen son grados de intemperismo, contenido de arcilla, materia orgánica y forma de acidez presente (Alvarado, 1993).

Cuadro 16. Clasificación por municipio y unidad de suelo respecto a su contenido de magnesio.

MUNICIPIO	UNIDAD DE SUELO	Mg $\text{cmol}^+ \text{ Kg}^{-1}$	NIVEL (Etchevers, 1971)
VILLA VICTORIA	ANDISOL	2.75	MEDIO
	FEOZEM	2.75	MEDIO
	VERTISOL	1.88	MEDIO
	ACRISOL	2.72	MEDIO
VILLA DE ALLENDE	ANDISOL	2.31	MEDIO
	ACRISOL	2.83	MEDIO
DONATO GUERRA	ANDISOL	3.82	ALTO
AMANALCO	ANDISOL	2.77	MEDIO
VALLE DE BRAVO	ACRISOL	4.24	ALTO
	VERTISOL	6.60	ALTO
	LITOSOL	4.78	ALTO
	ANDISOL	9.42	ALTO

López y Martínez, (1994) citan que suelos tratados previamente con Ca después de un período de incubación manteniendo a un pH original y la agregación de roca fosfórica en diferentes tratamientos ocurren incrementos considerables de calcio disponible para las plantas, y estos mayores aplicando adecuadamente cada uno de los mejoradores de suelo, por lo que se considera como alternativa para aumentar la disponibilidad de calcio en los suelos ácidos de la zona.

POTASIO

Los suelos mexicanos están bien abastecidos de K total, debido a la presencia de factores que no favorecen su lixiviación y por estar influenciados por actividad volcánica que depositó cenizas ricas en potasio (Ramírez y Laird, 1964, citado por Shoji *et al.*, 1993). Los valores encontrados para potasio son considerados ricos con 315.67 ppm Trinidad, 1991 (cuadro 9).

Los suelos que contienen alto potasio resultan ser los suelos derivados de cenizas volcánicas, como los que se presentan en la zona de trabajo. Villa Victoria los niveles fluctúan de niveles alto a medio,

en los demás municipios que conforman el área de estudio presentan un nivel alto de este nutrimento. Etchevers, *et al.*, (1971) proponen que estos niveles pueden afectar las disponibilidades de calcio y magnesio en la nutrición del maíz dado las interacciones entre estos nutrimentos. González, (1984) señala que la disponibilidad de potasio depende de la concentración de otros iones como calcio,

Cuadro 17. Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto a su contenido de Potasio.

MUNICIPIO	NIVEL (Etchevers 1971)	# MUESTRAS	(%) DEL ÁREA DEL MUNICIPIO
VILLA VICTORIA	MUY BAJO	16	32.65
	BAJO	2	4.08
	MEDIO	16	32.65
	ALTO	15	30.61
	TOTAL	49	100 %
VILLA DE ALLENDE	MUY BAJO	10	22.22
	BAJO	4	8.16
	MEDIO	12	26.66
	ALTO	19	42.22
	TOTAL	45	100 %
DONATO GUERRA	MUY BAJO	0	0.00
	BAJO	0	0.00
	MEDIO	0	0.00
	ALTO	17	100.0
	TOTAL	17	100 %
AMANALCO	MUY BAJO	2	11.76
	BAJO	0	0.00
	MEDIO	5	29.41
	ALTO	10	58.82
	TOTAL	17	100 %
VALLE DE BRAVO	MUY BAJO	0	0.00
	BAJO	3	20.00
	MEDIO	3	20.00
	ALTO	9	60.00
	TOTAL	15	100 %

magnesio y aluminio, los valores más bajos de este elemento se ubican en los municipios de Villa de Allende y Villa Victoria, una razón es el uso intensivo de estos suelos en la agricultura de estos municipios y fórmulas de fertilización bajas en el elemento, los valores más bajos se encuentran en Vertisoles (0.00586%) y Acrisoles (0.0356%) de Villa Victoria (cuadro 18).

Cuadro 18. Clasificación de los suelos analizados en cada municipio y unidad de suelo respecto a su contenido de Potasio la Subprovincia de Mil Cumbre

MUNICIPIO	UNIDAD DE SUELO	K cmol ⁺ Kg ⁻¹	NIVEL (Etchevers, 1971)
VILLA VICTORIA	ANDISOL	0.022	MEDIO
	FEOZEM	0.0117	BAJO
	VERTISOL	0.0058	MUY BAJO
	ACRISOL	0.0356	MUY BAJO
VILLA DE ALLENDE	ANDISOL	0.0293	ALTO
	ACRISOL	0.0160	MEDIO
DONATO GUERRA	ANDISOL	0.0707	ALTO
AMANALCO	ANDISOL	0.0341	ALTO
VALLE DE BRAVO	ACRISOL	0.0355	ALTO
	VERTISOL	0.0662	ALTO
	LITOSOL	0.0345	ALTO
	ANDISOL	0.0246	ALTO

En general, Donato Guerra no presenta problemas en abastecimiento de potasio, Valle de Bravo tiene un buen abastecimiento en el 80% de su superficie agrícola pero el 20% requiere de una aplicación de potasio; en Amanalco el 88 % se clasifican como altos y medio, solo el 12% se ubica en nivel bajo, Villa de allende, con valor de 42% altos, 27% medio y 22% como muy bajo o deficientes en este elemento. Villa Victoria tiene el mayor porcentaje en suelos clasificados como bajos en potasio, con el 33% con alto contenido y 33% como medios en concentración de éste (Cuadro 17).

Al hacer la interpretación por unidades edáficas se observa deficiencias en potasio en: Feozems, Vertisoles y Acrisoles del Municipio de Villa Victoria, un contenido medio en Acrisoles de Villa de Allende, para aumentar la disposición para las plantas en sitios con deficiencia en potasio es la adición en la fertilización química sugerida por los paquetes tecnológicos de la región (SEDAGRO 1995); de acuerdo a los valores encontrados se sugiere un plan de fertilización de éste elemento que considere las unidades de suelos presentes y sus rendimientos potenciales para cada región, etc. para aportar las concentraciones que necesita el cultivo de maíz para una adecuada nutrición.

FÓSFORO

El propósito de la aplicación de los fertilizantes fosfatados es incrementar la cantidad de fósforo disponible en suelo para satisfacer completamente la demanda de este elemento por los cultivos. La eficiencia de esta práctica se ve limitada por la intensidad de las reacciones químicas que ocurren en los suelos ácidos (Bohn, 1985). En estudios anteriores en suelos ácidos se encontró que entre el 80 y el 87% del área resulta ser deficiente en fósforo disponible para las plantas. Johansen *et al.*, (1995) menciona que ha sido mencionado que el fósforo total del suelo es frecuentemente 100 veces mayor que la fracción normalmente disponible para los cultivos. El estatus de fósforo puede ser afectado por fertilización y prácticas de cultivo, se observa que cuando las formas no disponibles de fósforo cambian a disponible es respuesta a la adición de uso adecuado de fertilizante y otras prácticas agrícolas, repercute en no requerir de aplicaciones de este para mantener la fertilidad en fósforo en el suelo (Bishop, *et al.*, 1994).

El Fósforo extractable (Olsen) para los suelos de la zona se considera como extremadamente pobre 13.383 ppm Trinidad, 1991 (cuadro 9), la baja disponibilidad de fósforo se explica por la presencia de materiales amorfos en suelos derivados de cenizas volcánicas. Villa de Allende presenta valores con 10.260 ppm y Amanalco 12.976 ppm, estos valores se consideran bajos debido a la predominancia de Andisoles, Valle de Bravo 7.0582 ppm P-Olsen tiene el valor más bajo de disponibilidad del elemento. Para la problemática de baja disponibilidad de fósforo, se deben de considerar otros aspectos como un mejor manejo de fertilizantes fosfatados o una aplicación mixta de abonos orgánicos que se deben de profundizar en las investigaciones. Los valores bajos los encontramos en Leptosol (0.9 ppm) y Andisol (3.36 ppm) ambos en el municipio de Valle de Bravo. Los valores altos se ubican en los Feozem (25.26 ppm) y Vertisoles (26.62 ppm) de Villa Victoria, estos últimos solamente interviene la acidez del suelo en la disponibilidad de este (Cuadro 19).

RETENCIÓN DE FÓSFORO

La alta capacidad de retención de fósforo en algunos suelos, su consecuente es la baja disponibilidad de fósforo son los principales problemas en los suelos derivados de cenizas volcánicas (Alvarado y Cajuste, 1993); los valores de la retención de fósforo (RF) de los suelos de Villa de Allende con un porcentaje (74.05% RF), Amanalco (76.16% RF) y Donato Guerra (63.85% RF), los Andosoles retienen fuertemente altas cantidades de fosfatos y otros aniones a través de precipitación o adsorción provocado por Al activo y Fe que contribuyen en la reacción de fijación, estas líneas tienden a ser estudiadas por muchos investigadores (Gunjigate y Wada, 1981). Para Andosoles mexicanos, de la Sierra Nevada, Estado de México, se ha determinado esta retención por métodos: a) disolución selectiva con oxalato ácido de amonio, pirofosfato de sodio y diotinito-citrato-bicarbonato, b) espectroscopia infrarroja, c) difracción de rayos X y d) microscopia electrónica de barrido (MEB), las relaciones Al/Si determinadas con disoluciones selectivas, han encontrado la presencia de materiales predominantemente alofánicos en horizontes superiores y de imogolita a profundidad mayor de 135 cm Hidalgo *et al.*, (1991).

De este modo se presume que los suelos estudiados donde hay un alto porcentaje de fijación de fósforo superior al 60% se considera como suelo con características Andicas así como lo cita Cruz,

et al., (1988); el mineral arcilloso lo conforman el alófono, opalina y la imogolita que tienen un gran poder de adsorción de fósforo y los altos contenidos de aluminio extractable presente en estos suelos 149.22 ppm (cuadro 9), que los bajos niveles de fósforo que es una característica que influye, en la productividad del suelo que limita a los cultivos (Etchevers, *et al.*, 1985; Wada, 1985), la absorción de fosfatos es fuertemente dependiente del pH y se incrementa la retención marcadamente cuando hay un incremento de la concentración de fósforo por medio de aplicaciones de fertilizantes, el pH (<6), así mismo se asocia con la presencia de Al y Fe y su concentración de estos, los altos niveles de los iones H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} depende su presencia en forma disponible de la forma que se tiene al aluminio activo y al ligando (Gunjigate And Wada. 1981; Kuo and Jellum, 1994).

En los suelos volcánicos la cinética de retención de fósforo permite postular mecanismos dominantes de la concentración de fósforo; la adsorción de Fósforo sobre los hidróxidos amorfos de Fe y Al se puede atribuir a 3 mecanismos: y) quimiosorción en los sitios superficiales protonados, ii) quimiosorción por remplazo de los hidrófilos superficiales, 3) una absorción de fósforo más física como un ion determinante del potencial eléctrico que ocurre cerca de la superficie modificada. El mecanismo de adsorción ha sido demostrado por la desaparición de fósforo de una solución dominada por constituyentes amorfos en geotita sintética. También se citan que a bajos concentraciones, el fosfato estaría unido químicamente a las superficies de óxidos de Fe y aluminio por fuerzas químicas específicas. (Carrasco, *et al.*, 1993; porflit and Clayden, 1991).

Los Acrisoles deben sus valores altos de retención de fósforo (67.49%), al material parental que lo forma que es de origen volcánico; por estar muy relacionados con Andosoles predominantes en la zona. Como es de esperarse en Vertisoles (25.95%), Leptosol (23.26%) y Feozems (36.68%) no presentan problemas de fijación de fósforo y en general no se consideran suelos altamente fijadores de fósforo, si hay deficiencias en fósforo en estos suelos se presume que es por la falta de adición, que simplemente son pobres en este elemento por sus características genéticas y por una agricultura extensiva (Cuadro 19).

El valor máximo en retención de fósforo se encuentra en el municipio de Villa de Allende (95.96%) que se presenta en un Andosol y el mínimo en Valle de Bravo (2.52%) corresponde a un Vertisol. Esta retención de fósforo involucra mecanismos más complejos que la simple atracción electrostática, uno de dichos mecanismos se conoce como intercambio de "ligandos" y consiste en el intercambio de iones fosfato con iones hidróxilo en los bordes de los hidróxidos de Al y Fe [Parfitt, 1978; White 1980 citado por Alvarado y Cajuste, (1993)]. Las reacciones de intercambio de "ligandos" implican competencia entre los diferentes aniones en el suelo (aniones orgánicos, bicarbonato, nitrito, silicato, sulfato, fosfato e hidróxilo) por los sitios de adsorción. Aún cuando el fosfato es absorbido fuertemente en la mayoría de los suelos que puede verse desplazado parcialmente por los aniones AsO_4^{2-} , SeO_3^{2-} , HCO_3^- , OH^- y algunos aniones orgánicos (Bowden *et al.* 1980 citado por Alvarado y Cajuste, 1993).

No obstante la alta fijación de éste elemento en la mayoría de las muestras analizadas, el fósforo extractable en algunas muestras se tuvo valores altos, y esto puede deberse a una aplicación de fertilizante antes de la toma de muestra, en la época de floración del maíz. El fósforo retenido se incrementa con la cantidad de cenizas volcánicas. Esto da evidencia química en la contribución de Loes en los valores de retención de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas es un criterio

importante como clasificación de ICOMAND (1988) Soil Survey Staff (1990), el alto valor se debe a la concentración de complejos de Al-humus. (Bautista, and Katsuihrolnave, 1993).

Una de las prácticas para mantener una disponibilidad de fósforo adecuada es la aplicación de cal que es recomendada por diversos investigadores, se realiza como una alternativa para contrarrestar el problema de retención de fósforo y acidez del suelo López y Martínez, (1994). Sin embargo, es una actividad que debe estudiar la respuesta en la aplicación de cal y dosis necesaria en las diferentes unidades de suelo presentes en la Subprovincia geográfica de Mil Cumbres, ya que varios autores han reportado diferente respuesta a la disponibilidad de este elemento ya que puede tener efectos opuestos al encalar obteniendo respuesta el aumento en el pH de 4.5 a 5.5 o de pH 5.5 a 7.0 en diferentes tipos de suelo en Tabasco y de Chapingo, Miramontes y Ortega (1972) y López-Burnham, (1974).

Cuadro 19. Retención de Fósforo, Fósforo disponible (Olsen) y Aluminio disponible para cada unidad de suelo en los diferentes municipios.

MUNICIPIO	UNIDAD DE SUELO	% RETENCIÓN DE FÓSFORO	FÓSFORO DISPONIBLE OLSEN (ppm)	ALUMINIO DISPONIBLE (ppm)
VILLA VICTORIA	ANDISOL	75.08	16.13	210.56
	FEOZEM	36.68	25.04	68.15
	VERTISOL	25.95	26.62	68.06
	ACRISOL	45.61	23.08	127.66
	MEDIA	59.44	19.892	159.5
VILLA DE ALLENDE	ANDISOL	74.53	10.20	227.98
	ACRISOL	67.49	11.00	279.89
	MEDIA	74.05	10.26	231.49
DONATO GUERRA	ANDISOL	63.85	16.79	125.20
	MEDIA	63.85	16.79	125.20
AMANALCO	ANDISOL	76.16	12.97	191.65
VALLE DE BRAVO	ACRISOL	47.69	3.36	102.03
	VERTISOL	34.61	17.69	39.10
	LITOSOL	18.53	7.13	20.43
	ANDISOL	23.26	0.9	3.95
	MEDIA	30.90	7.0582	38.28

La combinación del encalado, la aplicación de fósforo y la combinación de éstas producen una disminución en la constante relacionada con la energía de retención lo cual indica que la fuerza de enlace de las superficies del suelo con el fósforo es menor cuando se aplica cal, fósforo o ambos, y por lo tanto puede estar en mayor cantidad en la solución del suelo, por lo que hace a este nutrimento

más disponible para las plantas Mehadi y Taylor (1988). Otra alternativa para causar un aumento de fósforo disponible es el acumulado en complejos orgánicos como fosfatos de inotisol esto para incrementar la mineralización y aprovechar el fósforo orgánico se puede inducir enzimáticamente el fósforo en el suelo, con incubaciones de enzimas como fosfatasa alcalina, ácida, fósforodiesterasa y fitasa.

Se demostró que el decremento de ácido fítico y en correspondencia con el incremento de ortofosfato por la fitasa, hace que el fósforo del suelo orgánico sea mineralizado enzimáticamente, dando una alternativa de la utilización de fitasa para incrementar el fósforo disponible para cultivos. En general, la descomposición de componentes orgánicos en el suelo se relaciona con la actividad enzimática. Durante el curso de la degradación microbiana en el suelo encaminado hacia la materia orgánica, muchas enzimas son sintetizadas y relacionadas con la solución del suelo en la especificidad de reacciones por cuatro enzimas fosfatasas con actividad relacionada con el fósforo (Bishop, *et al.*, 1994).

El uso de la roca fosfórica se ha considerado la forma más barata de suplir fósforo a los cultivos en grandes áreas de suelos ácidos de la zona tropical y subtropical, al natural o parcialmente acidulada la aplicación, es uno de los factores para que se consideren para la aplicación a los cultivos de la zona. La baja calidad de los cultivos debido a deficiencias nutrimentales principalmente en fósforo, repercute especialmente en proteínas, energía y minerales. El manejo de la fertilización, especialmente fosfatada, es una alternativa planteada para mejorar la productividad de los suelos de estas regiones. (López y Hernández, 1994; Hidalgo *et al.*, 1991).

ALUMINIO

En suelos ácidos de la zona de estudio es uno de los factores importantes en el estado de fertilidad, es la concentración de aluminio disponible en el suelo (149.22 ppm) (Cuadro 9), condición química que reduce el rendimiento de los cultivos, hasta en 20 ó 30% de maíz (Pérez, 1988).

No es exclusivo los niveles altos de aluminio extractable para estos suelos. En la Sierra Nevada, Estado de México López, (1984), García y Hernandez (1994) en Andosoles de Villa de Allende se encontraron niveles parecidos en contenidos de aluminio en suelos ácidos y los mayores contenidos se determinaron en Andisoles como los mismo del Municipio de Villa de Allende (231.49 ppm) y Amanalco (191.71 ppm) los valores son los más altos predominando los suelos de Ando (ver cuadro 20). Estos presentan una reacción ácida en los horizontes superficiales, que se incrementa en los horizontes más bajos, ya que la acidez de estos suelos se debe a la composición mineralógica y al contenido de aluminio en su fracción arcillosa (Shoji, *et al.*, 1982; Leide *et al.*, 1996; Randy and Masahiko, 1994).

La fase activa del suelo es la alofánica que consiste principalmente de materiales amorfos componentes entre aluminio-humus que se caracterizan por la estabilización de una baja biodegradación. La relación de aluminio depende de la composición parental y las intensas condiciones climáticas, alta precipitación, humedad y buen drenaje, que deriva a una gradual eliminación de sílice y bases que son también necesarios para el desarrollo de Andosoles

Neovolcánico alofánicos (Bäumler, and Zech; Wolfgang, 1994). El aluminio interfiere en la disponibilidad del fósforo en el suelo y en la movilidad del calcio en la planta interfiriendo en el crecimiento radicular y disminuyendo la absorción de calcio por las plantas (Nuñez, 1985).

En los suelos de Ando el material parental y las condiciones climáticas, el aluminio activo juega un papel predominante en Andisoles no volcánicos, muestra una alta relación en cantidades suficientes de Al, cuando estas interactúan con la fase orgánica del suelo (Bäumler, R and Zech, Wolfgang. 1994).

Cuadro 20. Clasificación de los diferentes niveles de aluminio para los suelos analizados de cada municipio.

MUNICIPIO	NIVEL (CIMMYT)	# MUESTRAS	% DEL AREA DEL MUNICIPIO
VILLA VICTORIA	TÓXICO	5	10.20
	MEDIANAMENTE TÓXICO	15	30.61
	NO TÓXICO	29	59.18
	TOTAL	49	100 %
VILLA DE ALLENDE	TÓXICO	16	35.55
	MEDIANAMENTE TÓXICO	19	42.22
	NO TÓXICO	10	22.22
	TOTAL	45	100 %
DONATO GUERRA	TÓXICO	0	0.00
	MEDIANAMENTE TÓXICO	6	35.25
	NO TÓXICO	11	64.70
	TOTAL	17	100 %
AMANALCO	TÓXICO	4	23.52
	MEDIANAMENTE TÓXICO	5	29.41
	NO TÓXICO	8	47.05
	TOTAL	17	100 %
VALLE DE BRAVO	TÓXICO	0	0.00
	MEDIANAMENTE TÓXICO	1	6.66
	NO TÓXICO	14	93.33
	TOTAL	15	100 %

La cantidad de carbono y de Al extractable en pirofosfato nos indica la cantidad de Al y Fe activo en acumulación con el humus; las bajas cantidades de bases intercambiables, baja valor cationico total efectivo y un valor relativamente alto de Al intercambiable en KCl, alta cantidad de materia orgánica, la alta cantidad de precipitación origina que las bases del suelo sean conducidas fuera del suelo y muestran una reacción ácida proporciona las características principales de estos suelos.

La acumulación de grandes cantidades de humus se observa en suelos de cenizas volcánicas y se considera para la acumulación de aluminio. El principal concepto de un Andisol es que son suelos desarrollados de eyectas volcánicas cuando la fracción coloidal son pequeñas fracciones de minerales (Lampo *et al.*, 1993). El complejo Al-humus son formados intensamente y están confirmados por los datos de Alp (aluminio pirofosfato), Al_{ox} (Aluminio Oxalato) en todos los horizontes. La extracción de pirofosfato es comúnmente usada para estimar la cantidad de Al en complejo Al-humus de Andisoles (Porfilit *et al.*, 1991).

Los índices de aluminio se relacionan con la acidez, al aumentar su concentración en el suelo hay una respuesta positiva de la acidez hidrolítica, como se observa en los municipios de Villa de Allende y Villa Victoria. Otro efecto que tiene el aluminio es sobre la capacidad de retención de fósforo y disponible, se nota que en Villa de Allende, que al aumentar aluminio disponible (231.49 ppm), aumenta la retención de fósforo (74.05%) y disminuye fósforo disponible (10.260 ppm), estos problemas lo presentan los suelos ácidos de Michoacán y Veracruz en particular los Andisoles (Etchevers, *et al.*, 1985 y Alvarado, 1993). En base a lo anterior se tiene que para el maíz, la concentración de (3 cmol Al⁺Kg⁻¹ de suelo, 270 ppm) reduce gradualmente el crecimiento de raíz (CIMMYT, 1980a).

El 10% de los suelos de Villa Victoria se clasifican como tóxicos, mientras que el 59% como no tóxicos. En Villa de Allende el 42% son medianamente tóxicos y el 36% son clasificados como tóxicos. En Donato Guerra y Valle de Bravo el 65 y 93% de sus suelos respectivamente se clasifican como no tóxicos. De los suelos de Amanalco el 23% presenta toxicidad por aluminio, el 29% medianamente tóxico y el 47% no tóxico (cuadro 20).

La toxicidad de aluminio relacionado con las deficiencias de fósforo son problemas nutrimentales, es causado por efectos de toxicidad en células de raíz que se caracteriza por inhibición de división celular y la actividad nuclear que se relaciona al crecimiento por la absorción de aluminio que afecta el fósforo que juega papel antes mencionado. Las formas de Al en solución son (Al(OH)₂⁺+Al(OH)²⁺) que pueden predominar hasta en forma iónica Al³⁺; la concentración en las raíces afecta al crecimiento de plantas también aumenta con la presencia de NH₄⁺ que se puede relacionar con la competición entre las cargas de Al³⁺, H⁺ y NH₄⁺. Estas soluciones tienen un pH bajo esto posiblemente se dé por el sinergismo existente de H y Al (Keide *et al.*, 1996).

Para evitar que la toxicidad de aluminio interactúe con el suelo, se debe practicar actividades agrícolas para evitar que el aluminio intercambiable esté en nivel de toxicidad, esta reducción se obtiene en suelos tratados con roca fosfórica más Ca(OH). Se tiene un efecto en niveles de fósforo disponible, obteniéndose en todos los suelos incrementos de este elemento por la aplicación de ambos. Los niveles de Al intercambiables se redujeron, siendo esta reducción mayores en los suelos tratados con roca fosfórica más Ca(OH) (López y Martínez, 1994).

MATERIA ORGÁNICA

Los porcentajes de materia orgánica son altos, lo que hace suponer un adecuado suministro de nutrimentos como nitrógeno, azufre, fósforo y micronutrimentos, sin embargo, al relacionar este supuesto con los bajos rendimientos en la zona, se confirma que en los suelos derivados de cenizas volcánicas la materia orgánica es resistente a la mineralización, (Etchevers, *et al.*, 1985), esa lentitud se debe al predominio de moléculas orgánicas de bajo peso molecular como los ácidos fúlvicos (Gutiérrez 1979). El porcentaje de retención de fósforo (60.88 %) es un parámetro que confirma la presencia de minerales amorfos y da como consecuencia una deficiencia de dicho elemento, considerado como uno de los principales problemas en los suelos de origen volcánico (Nuñez 1979) (cuadro 9). los suelos contienen un (6.80%) y se considera extremadamente ricos (Trinidad; 1991).

Los altos contenidos de materia orgánica que van de 5.53 a 10.8 % proporcionan una acumulación de humus por efecto de tales como: temperatura, humedad, pH, actividad microbiana y alófono, que protege la descomposición de microorganismos (Wada, 1985) y sesquióxidos de Al y Fe que son causantes de la baja descomposición de la materia orgánica en Andosoles (Cervantes, 1965). Los municipios donde predominan los Andosoles como en Donato Guerra, Amanalco y Villa de Allende presentan valores extremadamente ricos en materia orgánica para suelos agrícolas. Se ha encontrado que la actividad microbiana de los Andisoles es baja en condiciones de campo, aunque participan los principales grupos de microorganismos (Muriyen *et al.*, 1978), pero puede estimularse, con la fertilización nitrogenada y/o la fosfatada en suelos con escaso fósforo. La adición de porqueraza con cal incrementa de manera significativa en el rendimiento de maíz en Andisoles de la Sierra Tarasca (Aguilar 1995; Ares and Wolfgang, 1988).

El 100% de los suelos de Valle de Bravo son extremadamente ricos en materia orgánica, el 76% para Amanalco, 96% en Villa de Allende, 76% en Donato Guerra y Villa Victoria con 73% (Cuadro 21).

NITRÓGENO

Una baja mineralización de materia orgánica, refleja una disminución en la disponibilidad de nitrógeno para las plantas (cultivos), esto determina la necesidad de adicionar fertilizantes nitrogenados para lograr rendimientos aceptables. Trinidad, (1991) y Moreno (1978) mencionan que el nitrógeno total con media de (0.286%) se considera rico (ver cuadro 9), el nitrógeno orgánico en la mayoría de los suelos y particularmente en los volcánicos tiene altos niveles, pero está en forma de complejos estables bajo ciertas circunstancias que dificultan su mineralización. Los Andosoles y Acrisoles presentaron los mayores porcentaje de nitrógeno con 0.2837% y 0.2843% respectivamente, son los suelos donde los porcentajes de materia orgánica son considerados como ricos (Fassbender y Bornemiza, 1987), los compuestos de nitrógeno son estabilizados con reacciones con otros constituyentes orgánicos del suelo o/y supone que los compuestos orgánicos del nitrógeno son estabilizados a través de la absorción sobre minerales arcillosos. El manejo del suelo por práctica de cultivo para elevar el pH también contribuye a disminuir el potencial de adsorción del nitrógeno en suelos de carga variable, son absorbidos por adsorción electrostática esto parece ser un limitante a la fertilidad de estos suelos. (Vargas, *et al.*, 1994).

Cuadro 21. lasificación de los diferentes niveles de materia orgánica en los municipios de la zona (Velasco, 1983).

MUNICIPIO	NIVEL (VELASCO, 1983)	# MUESTRAS	% DEL AREA DE MUNICIPIO
VILLA VICTORIA	EXTREMADAMENTE RICO	36	73.46
	RICO	6	12.24
	MEDIANAMENTE RICO	7	14.28
	TOTAL	49	100.0
VILLA DE ALLENDE	EXTREMADAMENTE RICO	43	95.55
	RICO	2	4.44
	MEDIANAMENTE RICO	1	2.22
	TOTAL	45	100.0
DONATO GUERRA	EXTREMADAMENTE RICO	13	76.47
	RICO	1	5.88
	MEDIANAMENTE RICO	2	11.76
	MEDIANAMENTE POBRE	1	5.88
	TOTAL	17	100.0
AMANALCO	EXTREMADAMENTE RICO	13	76.47
	RICO	3	17.64
	MEDIANAMENTE RICO	1	5.88
	TOTAL	17	100.0
VALLE DE BRAVO	EXTREMADAMENTE RICO	15	100.0
	RICO	0	0.00
	MEDIANAMENTE RICO	0	0.00
	TOTAL	15	100.0

Al igual que el contenido de materia orgánica, el contenido de nitrógeno en los cinco municipios es alto, con valores que oscilan entre 0.11 y 1.0%. El 51% de los suelos de Villa Victoria se clasifican como ricos en nitrógeno, para Villa de Allende 87%, Donato Guerra con 47%, Amanalco y Valle de Bravo con 53%. Cruz *et al.*, (1988) indica que la respuesta del nitrógeno en la Sierra Tarasca indica porque los porcentajes de nitrógeno fueron mayores en aquellos suelos con propiedades Andicas más intensas, el nitrógeno fijado representa una porción importante del nitrógeno total (5 a 53%) donde hay una estrecha asociación entre los porcentajes de alopáno y de materia orgánica el nitrógeno y sus

fracciones, sugieren la existencia de complejos de gran estabilidad. El nitrógeno orgánico constituyó del 50 al 94 % del nitrógeno total, y se relaciona con los sitios de mayor contenido de alófan hasta el 90% de su nitrógeno en forma orgánica.

Cuadro 22. Clasificación de los suelos analizados para nitrógeno en la Subprovincia de mil Cumbres correspondientes al Estado de México.

MUNICIPIO	NIVEL (MORENO, 1978)	# MUESTRAS	%
VILLA VICTORIA	RICO	25	51.02
	MEDIANAMENTE RICO	5	10.20
	MEDIO	12	24.48
	MEDIANAMENTE POBRE	6	12.24
	POBRE	1	2.04
	TOTAL	49	100 %
VILLA DE ALLENDE	RICO	39	86.66
	MEDIANAMENTE RICO	2	4.44
	MEDIO	2	4.44
	MEDIANAMENTE POBRE	2	4.44
	TOTAL	45	100 %
DONATO GUERRA	RICO	4	23.54
	MEDIANAMENTE RICO	7	41.17
	MEDIO	2	11.76
	MEDIANAMENTE POBRE	4	23.52
	TOTAL	17	100 %
AMANALCO	RICO	9	52.94
	MEDIANAMENTE RICO	1	5.88
	MEDIO	3	17.64
	MEDIANAMENTE POBRE	4	23.52
	TOTAL	17	100 %
VALLE DE BRAVO	RICO	8	53.33
	MEDIANAMENTE RICO	4	26.66
	MEDIO	3	20.00
	TOTAL	15	100 %

Moncada (1960), Aguilera (1965) y Cervantes (1965), coinciden en señalar que los contenidos de arcillas alofánicas, sesquióxidos de hierro y aluminio son las posibles causas de la lenta mineralización de la materia orgánica y por lo tanto baja disponibilidad del nitrógeno orgánico.

Como consecuencia de la estabilización del nitrógeno orgánico resulta que es aproximadamente 3% es mineralizado por microorganismos. Este hecho tiene gran importancia esta práctica que limita la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. Villa Victoria es el municipio con menor porcentaje (0.2481 0%) ya que son los suelos con mayor explotación agrícola. En Villa de Allende tiene el valor más alto con (0.3146%), el suelo predominante son Andosoles, esto explica los valores altos pero no hay disponibilidad suficiente para maíz.

El nitrógeno es requerido en altas cantidades para el crecimiento de las plantas cultivadas, el uso indiscriminado tiene un dramático incremento en la agricultura intensiva y extensiva, las fuentes son urea y sulfato de amonio con aplicación de 100 a 80 kg./ha, pero las pérdidas de nitrógeno son considerables, principalmente en áreas cultivadas intensivamente y esto se considera una fuente significativa para la contaminación ambiental, para reducir las pérdidas de nitrógeno se debe desarrollar una fertilización adecuada y esto se requiere de programas e información concierte en la necesidades de nitrógeno para cada cultivo en especial (García y Hernández 1994).

Es impresionante la acumulación de carbono orgánico y nitrógeno que es indicador de que en comparación entre las unidades de suelo presentes en el área de estudio, la relación de carbono y nitrógeno en los suelos derivados es más alta que en otros suelos minerales, las relaciones de C/N en los suelos de la zona y la materia orgánica juega un papel importante por la formación de Al-humus complejos que puede acumularse más carbono orgánico (Shoji *et al.*, 1995).

MICROELEMENTOS

COBRE

La importancia que se ha dado a los microelementos en la actualidad ha aumentado, ya que sus deficiencias han mermado los rendimientos de cultivos, algunos micronutrientes están en cantidades muy bajas en ciertas áreas; además, las condiciones de pH del suelo, la presencia de otros solutos, materia orgánica y el nivel de oxígeno, pueden afectar la solubilidad o capacidad de la planta para absorberlos de manera que son raras las deficiencias (Bidwell, 1979). La extracción de los nutrientes es afectada por pH del suelo (Solís *et al.*, 1995).

Con el fin de identificar las posibles causas de la merma de los niveles de producción de los cultivos y establecer medidas necesarias para mejorarla, se consideró importante el estudio de los microelementos. El conocimiento preciso del estado nutricional del suelo, desde el punto de vista de los microelementos, es presentarlo en las formas disponibles, así como las formas de relación existentes entre ellas ya que las formas, tiene una gran importancia en la predicción de cambios de fertilidad del pedón debido a la actividad agrícola Vallejo y Hernández (1993).

Los suelos de los municipios de Donato Guerra (100%), Valle de Bravo (93.33%) y Villa Victoria (83.67%), las cantidades se consideran adecuadas en el contenido de cobre, el municipio de Villa de Allende con el mayor porcentaje en deficiencia (31.11%) y Amanalco (23.52%) (Cuadro 23), son municipios con altos contenido de materia orgánica que debe de intervenir en la disponibilidad de cobre para los cultivos de manera relevante, se considera que la materia orgánica humificada, tiene gran afinidad con este elemento que forma complejos organominerales-arcillosos que intervienen en la baja disponibilidad del cobre y es descrito por autores Fassbender y Bornemiza, (1987); Finck (1985) y Marschner (1995).

ZINC

El zinc otro elemento que disminuye la forma disponible al quelatarse con la materia orgánica del suelo con un valor medio de 3.042 ppm, (Cuadro 9). Villa Victoria presenta el 29% y 39% de los suelos analizados como deficientes y marginales en disponibilidad de este elemento. Villa de Allende tiene deficiencias en Zinc en el 42% de sus suelos y 38% que lo clasifican como marginal, Donato Guerra 6% y 53% como deficiente y marginal respectivamente. Amanalco con el 29% en suelos deficientes y 35% marginales. Valle de Bravo no presentan deficiencias de éste elemento (ver cuadro 24) Vallejo y Hernández (1993).

Cuadro 23. Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto al contenido de Cobre.

MUNICIPIO	NIVEL (LINSLEY Y NORVEL, 1985)	# MUESTRAS	%
VILLA VICTORIA	DEFICIENTE	8	16.32
	ADECUADO	41	83.67
	TOTAL	49	100.0
VILLA DE ALLENDE	DEFICIENTE	14	31.11
	ADECUADO	31	68.88
	TOTAL	45	100.0
DONATO GUERRA	DEFICIENTE	0	0
	ADECUADO	17	100.0
	TOTAL	17	100.0
AMANALCO	DEFICIENTE	4	23.52
	ADECUADO	13	76.47
	TOTAL	17	100.0
VALLE DE BRAVO	DEFICIENTE	1	6.66
	ADECUADO	14	93.33
	TOTAL	15	100.0

HIERRO Y MANGANESO.

Hierro con valor de 37.71 ppm y manganeso 23.484 ppm.(Cuadro 9 y 25). El manganeso en ocasiones origina deficiencia de Fe por antagonismo recíproco entre ambos nutrientes (Nuñez 1985). Los micronutrientes determinados comparados con los valores establecidos por Viets y Lindsay (1973) para nutrientes extractados con DTPA pH 7.3, los nutrientes están a un nivel adecuado sin llegar a la toxicidad, la fertilización de micronutrientes no será necesaria en particular para el maíz. El aporte de los micronutrientes es por incorporación de la materia orgánica que al mineralizarse aporta los nutrientes disponibles y del material parental. El pH juega un papel importante en la disponibilidad de los micronutrientes para las plantas. Por lo general no es frecuente que se produzca un déficit de los micronutrientes en los cultivos, solamente cuando existen condiciones extremas de reacción en el suelo , generalmente estos satisfacen la demanda nutrimental con el aporte de sus respectivas fuentes (Cruz y Etchevers, 1993).

Cuadro 24. Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto al contenido de Zinc en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres Correspondientes al Estado de México.

MUNICIPIO	NIVEL (VIETS Y LINDSAY, 1973)	# MUESTRAS	%
VILLA VICTORIA	DEFICIENTE	14	28.57
	MARGINAL	19	38.77
	ADECUADO	16	32.65
	TOTAL	49	100 %
VILLA DE ALLENDE	DEFICIENTE	19	42.22
	MARGINAL	17	37.77
	ADECUADO	9	20.00
	TOTAL	45	100 %
DONATO GUERRA	DEFICIENTE	1	5.88
	MARGINAL	9	52.94
	ADECUADO	7	41.17
	TOTAL	17	100 %
AMANALCO	DEFICIENTE	5	29.41
	MARGINAL	6	35.29
	ADECUADO	6	39.29
	TOTAL	17	100 %
VALLE DE BRAVO	MARGINAL	1	6.66
	ADECUADO	14	93.33
	TOTAL	15	100.0

En el caso de hierro total, aunque hay valores extremos éstos están muy arriba de los valores de deficiencia. De esta forma, se observa que el 98% de los suelos de Villa Victoria, Donato Guerra 94% y Valle de Bravo 93.0% y de los suelos clasificados como adecuados para Amanalco es el 100% (Cuadro 25).

El manganeso en ocasiones origina deficiencias por antagonismos recíproco entre hierro y este, no obstante, no es el caso para la zona de estudio. Al igual que el hierro el manganeso se presenta en cantidades adecuadas para el crecimiento del cultivo de maíz; en los cinco municipios el porcentaje de los suelos se clasifican como adecuados en manganeso disponible se encuentra entre 98 y 100% (Cuadro 26).

Cuadro 25. Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto al contenido de hierro.

MUNICIPIO	NIVEL (VIETS Y LINDSAY, 1973)	# MUESTRAS	%
VILLA VICTORIA	MARGINAL	1	22.04
	ADECUADO	48	97.65
	TOTAL	49	100 %
VILLA DE ALLENDE	MARGINAL	3	6.66
	ADECUADO	42	93.33
	TOTAL	45	100 %
DONATO GUERRA	DEFICIENTE	1	5.88
	ADECUADO	16	94.11
	TOTAL	17	100 %
AMANALCO	ADECUADO	17	100 %
VALLE DE BRAVO	MARGINAL	1	6.66
	ADECUADO	14	93.33
	TOTAL	15	100 %

El pH ácido la lluvia y la tasa de mineralización de la materia orgánica, introducen condiciones ácidas al suelo y ayudan a la solubilización de microelementos provienen de formas más resistentes (Vallejo y Hernández, 1993). Esto demuestra que los suelos cuentan con una adecuada proporción de Zn, Cu, Mn y Fe en forma disponible para el maíz, esto indica que las fracciones importantes de microelementos se encuentran en materia orgánica y en minerales primarios y secundarios del suelos. Aún con valores adecuados de nutrimentos en el suelo, la extracción de micronutrimentos por exportación de plantas de maíz, salidas por lixiviación, etc. podrían agotar paulatinamente la fracción disponible, sin considerar la cantidad de reserva (absorbidos a sitios orgánicos e inorgánicos) por lo tanto se debe dar seguimiento a la geoquímica de estos elementos y estudiar las fracciones no disponibles para que en su momento se dispongan las fracciones más solubles.

Cuadro 26. Clasificación de los suelos analizados en cada municipio respecto al contenido de Manganeseo.

MUNICIPIO	NIVEL (LINSYD Y NORVEL, 1985)	# MUESTRAS	%
VILLA VICTORIA	DEFICIENTE	0	0.00
	ADECUADO	49	100.0
VILLA DE ALLENDE	DEFICIENTE	1	2.22
	ADECUADO	44	97.77
DONATO GUERRA	DEFICIENTE	0	0.00
	ADECUADO	17	100.0
AMANALCO	DEFICIENTE	0	0.00
	ADECUADO	17	100.0
VALLE DE BRAVO	DEFICIENTE	0	0.00
	ADECUADO	15	100.0

TEJIDO VEGETAL

Los suelos de la Subprovincia Geográfica de Mil cumbres, no presentan un adecuado estado de fertilidad para las actividades agrícolas, son suelos ácidos, con altos contenidos de aluminio extractable, alta retención de fósforo con baja disponibilidad de éste, son algunas características que generan problemas nutricionales para los cultivos en especial del maíz.

Cuadro 27. Medias, intervalos y desviaciones estándar de las concentraciones nutrimentales en muestras de hoja de maíz opuestas al jilote: en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.

NUTRIMENTO	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA*	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
NITRÓGENO (%)	1.00	3.85	2.3504	0.5552
FÓSFORO (%)	0.10	0.4302	0.2553	1.4626
POTASIO (%)	0.682	2.94	2.003	1.4626
CALCIO (%)	0.044	0.885	0.2811	0.1457
MAGNESIO (%)	3.75×10^{-3}	0.4825	0.1659	0.09416
COBRE (ppm)	7.00	28.50	15.704	11.289
ZINC (ppm)	6.60	291.00	87.26	79.122
FIERRO (ppm)	50.00	1391.00	262.51	168.83
MANGANESO (ppm)	8.0	483.00	63.41	59.776

*promedio 131 muestras

NITRÓGENO

El nitrógeno ocupa una posición excepcional como elemento esencial para el crecimiento de las plantas, ya que se requiere altas tasas de él. Una deficiencia de nitrógeno en las plantas ha provocado un amarillamiento de las hojas y un reducido crecimiento de maíz. Los nitratos son la forma nitrogenada absorbida por la mayoría de los cultivos, sin embargo, dadas las condiciones edafológicas inapropiadas para su desarrollo y crecimiento, se supone que en esta forma es muy difícil que la planta la absorba cuando hay ausencia de éste (Stevenson, 1986 citado por Cruz 1997; Cruz *et al.*, 1988). El nitrógeno como elemento nutrimental, está involucrado en numerosos procesos de los cuales los más importantes son: el decremento en los rendimientos (fijación de nitrógeno por organismos procarióticos y eucarióticos, reducción de nitrato, nitrito, asimilación de amonio en compuestos de reserva, fuentes fisiológicas y la síntesis de proteínas o ácidos nucleicos en compartimientos celulares de la demanda fisiológica del nutrimento); las fuentes fisiológicas son esencialmente en tejidos celulares y organelos principalmente los cloroplastos; cuando hay deficiencia en la planta algunos procesos disminuyen o se interrumpen en el cultivo de maíz de la zona (Miflin y Lea 1977, citados por Cruz, 1997).

CUADRO 28. Concentración nutrimental media de hoja en maíz opuesta al jilote durante la formación de éste, para cada municipio durante el ciclo agrícola 1995.

NUTRIMENTO	MUNICIPIOS				
	VILLA VICTORIA	VILLA DE ALLENDE	AMANALCO	DONATO GUERRA	VALLE DE BRAVO
NITRÓGENO %	2.602	2.222	2.064	2.405	2.135
FÓSFORO %	0.266	0.236	0.276	0.253	0.234
POTASIO %	2.040	2.015	2.084	2.010	1.915
CALCIO %	0.286	0.279	0.274	0.327	0.247
MAGNESIO %	0.146	0.162	0.136	0.190	0.170
COBRE ppm	14.17	14.46	15.73	16.85	15.00
ZINC ppm	104.52	97.20	66.58	48.75	53.90
FIERRO ppm	255.57	268.78	213.02	285.80	203.64
MANGANESO ppm	97.91	44.64	60.50	44.15	36.04

promedio de 131 muestras.

El estado nutrimental del nitrógeno en este cultivo es **bajo** con porcentaje en planta 2.350% (cuadro 27); debe su importancia este nutrimento a las altas concentraciones absorbidas por los cultivos que son nitratos, nitritos y amonio intercambiable parte es fijado; sin embargo, en el suelo es muy pequeño el porcentaje disponible para las plantas (Smith and Young, 1975; citado por Smith, 1978). El 75.54% de las plantaciones del maíz presenta deficiencia y bajos niveles de nitrógeno y solo el 25.95% niveles de suficiente y solo el 1.13% alto (cuadro 29), de los cuales el municipio con mayor

problema es: Amanalco (2.064%), Valle de Bravo (2.135%), Villa de Allende (2.222%) (cuadro 28). El nitrógeno en los Litosoles es deficiente (1.855%) y los Feozem (2.56%) aún al ser el valor más alto, de igual manera entra en un nivel **bajo** (Ver cuadro 30).

Los Andisoles 2.353% y Acrisoles (2.3811%) (cuadro 30, 31 y 32) se ubican en nivel **bajo**, debido a que encontró el nitrógeno en forma de complejos estables, que bajo estas circunstancias se dificulta su mineralización en suelos ácidos por lo que se manifiestan problemas de abastecimiento en nitrógeno, la toxicidad de aluminio en la solución del suelo que protege la biodegradación de la materia orgánica en donde intervienen los microorganismos del suelo (Takashiki and Wada 1975, citado por Shoji *et al.*, 1991 y Cruz, 1988), esto provoca el uso exagerado de fertilizantes nitrogenados como en el municipio de Villa Victoria, sin embargo, esto se justifica por el intenso uso agrícola, debido al incremento de aplicaciones de fertilizantes en el suelo se tiene el valor más alto (2.6209%) que se ubica en el nivel de **suficiente**, también la presencia de Vertisoles y Feozems interviene en estos valores de suficiencia (Cuadro 29). La dinámica de este macronutriente de su fijación en el complejo arcilloso y también depende de la cantidad de potasio intercambiable (Velázquez, 1971), la fijación de nitrógeno por algunos cultivos en asociaciones con bacterias, promueven la mineralización de la materia orgánica por microorganismos y el uso adecuado de fertilizantes nitrogenado son temas que deben de orientar a las investigaciones a futuro.

En Andisoles el 75.54%, Acrisoles con 48.81% y Feozems 42.85% del total de su superficie se ubican con problemas de deficiencias y bajos niveles de nitrógeno en la hoja opuesta, solo los Vertisoles presentan 80% del área en estudio en nivel de suficiencia (Cuadros 31, 32, 33 y 34).

FÓSFORO

El cultivo de maíz de la Subprovincia de Mil Cumbres presentan una media de fósforo que presenta en la hoja opuesta a la mazorca durante la época de floración femenina (Jilote) con valor de 0.255% (Cuadro 27) considerado como **bajo**, el valor de retención de fósforo es alto (60.88% R.F.) (Cuadro 8), por las características que se destacan de las condiciones edáficas de la zona donde principalmente predominan los Andosoles, que depende de los materiales no cristalinos en formación (componentes Aluminio y Hierro activo) promueven la retención de fósforo orgánico e inorgánico que es un proceso predominante que ocurren en Andosoles (Shoji *et al.*, 1993).

Los materiales arcillosos y humus contribuyen a las características químicas y físicas propias de Andosoles, una de las más significativas es la retención de fósforo que depende del rango de pH, contenido de aluminio, etc. (Shoji, *et al.*, 1996), los Andosoles y Acrisoles presentan valores casi semejantes que los ubican entre los niveles **deficiente** y **bajo** (0.2524%) y (0.2549%). Los Feozem (0.2609%) y Vertisoles (0.2617%) sus valores se ubican en el intervalo de **suficiente**. Los suelos con mayor problema es el Leptosol (0.2252%) que son suelos jóvenes con problemas nutrimentales y no aptos para la agricultura (Cuadro 30) aunque sin embargo, es el municipio de Valle de Bravo donde la retención de fósforo alcanza hasta un 25% R.F. pero el fósforo disponible es 7.058 (ppm) considerado como pobre (Cuadro 19).

Las parcelas donde se cultiva maíz en suelos de Ando el 59.55% se considera **bajo-deficiente** y (40.45%) son **suficientes** (cuadro 29). García y Hernández (1994), determinaron problemas

nutrimentales para fósforo en suelos de Villa de Allende y se corrobora que los municipios donde predominan los Andosoles presentan, los valores más bajos en la zona de estudio.

Las diferentes técnicas que permiten una mejor disponibilidad de fósforo para los cultivos son: los encalados (Alvarado, 1996) y la combinación con inoculaciones de micorrizas con un adecuado abonamiento y fertilización inorgánica, estos han incrementado los rendimientos considerablemente en maíz en suelos de Ando de Villa Victoria, Estado de México (Martínez *et al.*, 1996), también la introducción de roca fosfórica en diferentes forma de aplicación y acidulación aumentan significativamente la materia seca en maíz (Nuñez, *et al.*, 1996; Masumi *et al.*, 1995).

CUADRO 29. Porcentaje de plantaciones de maíz para cada nivel nutricional de cada nutriente analizado.

NUTRIMENTO	NIVEL					TOTAL %
	DEFICIENTE	BAJO	SUFICIENTE	ALTO	TÓXICO	
NITRÓGENO %	15.26	58.03	25.95	0.76	--	100
FÓSFORO %	0.76	58.79	40.45	--	--	100
POTASIO %	4.58	13.74	78.63	3.05	--	100
CALCIO %	33.58	41.23	25.19	--	--	100
MAGNESIO %	25.97	46.56	25.95	1.52	--	100
COBRE ppm	--	0.76	93.12	6.12	--	100
ZINC ppm	--	32.82	38.94	4.58	23.66	100
FIERRO ppm	--	--	58.79	23.6	17.55	100
MANGANESO ppm	1.52	3.81	87.80	4.58	2.29	100

promedio de 131 muestras

En el área de estudio el 60 %, de los Andosoles, el 58.82 % Acrisoles, 71.42 % Feozems y Vertisoles el 50.0 %, presenta deficiencias en planta de maíz, las dos últimas unidades edafológicas no es normal el alto porcentaje de deficiencias en fósforo, no se consideran como suelos fijadores de fósforo. Los bajos niveles de este nutriente en los suelos de Ando es por la génesis de éstos y se incluyen las características edafológicas propias de la zona, que intervienen en propiciar los problemas de disponibilidad de fósforo en el cultivo de maíz y en general en las otras unidades de suelo utilizadas en la agricultura (Feozems Acrisoles y Vertisoles; Cuadros 31, 32, 33 y 34).

POTASIO

El potasio, elemento junto con el fósforo y nitrógeno, son los de mayor requerimiento para las necesidades de las plantas (Marschner, 1995), en los suelos volcánicos de la zona existen diferentes propiedades químicas y físicas que hacen disponible en forma suficiente al potasio, como ejemplo: las características de las tefras, régimen fluvial, vegetación y prácticas de cultivo (Shoji *et al.*, 1995),

el potasio es común en rocas volcánicas que contienen un total de 0.5 a 4.0 % de K_2O (Shoji *et al.* 1975). En los suelos derivados de cenizas volcánicas de la Subprovincia de Mil Cumbres los valores son adecuados y esto permite a los cultivos no tengan deficiencia en este nutrimento, con una media de 2.003 %, que caen dentro del nivel de suficiente en maíz (Cuadro 27).

El (Cuadro 29) nos indica que el 18.32% de las parcelas están en un porcentaje nivel bajo-deficiente, 78.63% suficiente y alto 3.05%; sé estima que aproximadamente de 10 cm de profundidad se tiene un total de 7.5 a 60 ton/ K_2O , que varía de acuerdo a variedad de tepras, al tipo de roca y al mineral más abundante que las forma y estos son plagioclasa y piróxenos (Shoji *et al.*, 1986).

De manera general, los ordenes de suelo de la zona, presentan los siguientes contenidos de potasio, en la hoja opuesta a la mazorca son: Andosoles (2.0195%), Acrisoles (2.0341%), Vertisoles (2.021%), Feozem (2.039%) y Litosol (1.916%), considerados todos como suficientes. Se debe seguir estudiando la dinámica y comportamiento del potasio para limitar su fertilización ya que no se considera necesaria o muy insignificante su adición, para que no contribuya a las deficiencias de nutrimentos como calcio y magnesio (Kamata, *et al.*, 1988; citado por Shoji *et al.*, 1993); Se ha determinado lo mismo en Andisoles de la Sierra Tarasca Mich. y Villa de Allende Estado de México Etchevers *et al.*, (1985); García y Hernández (1994), no es un nutrimento limitante para su crecimiento de maíz en La Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres.

CUADRO 30. Medias de concentraciones nutrimentales de hoja de maíz opuesta al jilote durante la formación de este, colectada durante ciclo agrícola de 1995.

NUTRIMENTO	UNIDAD DE SUELOS				
	ANDOSOL	ACRISOL	VERTISOL	FEOZEM	LEPTOSOL
NITRÓGENO %	2.353	2.3811	2.20	2.56	1.855
FÓSFORO %	0.2524	0.2549	0.2617	0.2609	0.2252
POTASIO %	2.0195	2.0341	2.021	2.039	1.916
CALCIO %	0.2826	0.2801	0.2605	0.286	0.275
MAGNESIO %	0.1564	0.1320	0.212	0.168	0.108
COBRE ppm	15.49	15.98	14.40	13.85	10.25
ZINC ppm	86.22	108.29	60.25	38.37	39.75
FIERRO ppm	250.02	299.30	221.30	263.28	231.70
MANGANESO ppm	50.45	110.52	58.10	128.52	24.50

promedio de 131 muestras

CALCIO Y MAGNESIO

Se observa el (Cuadro 27) que los nutrimentos con mayores problemas son: calcio (0.2811 %) y magnesio con (0.1659%) que se ubican dentro del nivel **bajo** lo que concuerda con lo reportado por Etchevers *et al.*, (1985), García y Hernández (1994). Una de las consecuencias de los suelos ácidos es la pérdida de bases como calcio, magnesio, potasio y sodio que son lixiviados tal como lo reporta Rivera, *et al.*, (1996), el alto contenido de aluminio soluble que tiene efecto sobre procesos fisiológicos y anatómicos del maíz influye negativamente en la división celular de la raíz y además de las raíces laterales, lo que aumenta la rigidez de las células, reduce la replica del DNA, disminuye la respiración de la raíz, también participa en la toma y transporte de elementos esenciales aunado a la inmovilización de calcio y magnesio en el tejido vegetal (Pandey *et al.*, 1994).

Los Vertisoles presentan una acidez fuerte, para este tipo de suelos, que son normalmente neutros. Esto se refleja en el cultivo de maíz, que presenta deficiencias para disponer de nutrimentos de carácter básico, este suelo tiene los valores más bajos en la acumulación de calcio en maíz 0.2605%, la más alta se presentó en Feozem 0.286% (Cuadro 30) ya que todos los valores se ubican en el nivel **bajo**. El municipio de Valle de Bravo presenta valores de calcio (0.2479%) que es el más bajo y Amanalco (0.327%) el valor más adecuado, sin embargo, no se le considera un nivel de suficiencia; el municipio de Valle de Bravo la actividad agrícola no es relevante en sus actividades económicas, por lo que su manejo de suelo es deficiente y esta razón nos justifican los valores de calcio y magnesio.(Cuadro 28).

CUADRO 31. Porcentaje de plantaciones de maíz de cada nivel nutricional en los Andisoles.

NUTRIMENTO	NIVEL					TOTAL %
	DEFICIENTE	BAJO	SUFICIENTE	ALTO	TÓXICO	
NITRÓGENO %	17.77	57.77	23.33	1.13	--	100
FÓSFORO %	--	60.00	40.00	--	--	100
POTASIO %	5.55	28.88	61.11	4.44	--	100
CALCIO %	33.33	42.22	24.44	--	--	100
MAGNESIO %	24.44	47.77	26.66	1.11	--	100
COBRE ppm	--	1.11%	93.33	5.55	--	100
ZINC ppm	--	34.44	38.88	2.22	24.24	100
FIERRO ppm	--	--	58.88	27.77	13.33	100
MANGANESO ppm	2.22	4.44	88.88	4.44	--	100

promedio de 131 muestra

En los Acrisoles es la unidad de suelo con mayores deficiencias en magnesio con una media de 0.1320% se considera como **bajo** se tienen problemas de este nutrimento, el valor más alto fueron los de los Vertisoles 0.212% entra al nivel de **suficiente**. Los municipios de Amanalco (0.1365%) y Donato Guerra presenta los valores más bajo, este valor cae en el nivel de **bajo**; las interacciones existentes de estos dos nutrimentos se hace presente en el cultivo de maíz ya que cuando hay valores bajos de calcio aumenta el porcentaje de magnesio y viceversa por lo que hay que profundizar el estudio de interacciones de calcio y magnesio. Las aplicaciones de mejoradores químicos como cal agrícola que dentro de sus funciones es aumentar el pH, mejorar algunas características físicas del suelo, adicionar Ca y Mg (Rangel, 1996), el mejorador para encalar influye en la cantidad de estos nutrimentos, se recomienda adicionar a ambos en una sola aplicación para evitar interacciones negativas y de esta forma se mejora el estado nutricional de ambos nutrimentos en maíz (Alvarado, 1996). El 74.8% de las parcelas presentan nivel **bajo-deficiente** de calcio y para magnesio con un (72.53%) del área muestreada, presenta el mismo nivel, las tecnologías agrícolas aplicadas en los municipios de Villa de Allende, Donato Guerra, Amanalco y Villa Victoria han sido la principal causa de los problemas nutricionales, aún considerando las características edafológicas de la zona, por la presencia de suelos ácidos. (Cuadro 30) los Andisoles (0.2826% Ca) (0.1564%Mg) y Acrisoles (0.2810% Ca) (0.1320% Mg) presentan una media con problemas severos más en este último; el estado nutricional del maíz en éstos nutrimento es preocupante debido a la importancia fisiológica de ambos, se han reportado deficiencias en los suelos derivados de cenizas volcánicas de la Sierra Tarasca, Michoacán. (Etchevers *et al.*, 1985).

Cuadro 32. Porcentaje de nutrimental del maíz en los Acrisoles.

NUTRIMENTO	NIVEL					TOTAL %
	DEFICIENTE	BAJO	SUFICIENTE	ALTO	TÓXICO	
NITRÓGENO %	11.76	47.05	41.17	--	--	100
FÓSFORO %	--	58.82	41.17	--	--	100
POTASIO %	--	23.52	70.58	5.88	--	100
CALCIO %	17.64	64.70	17.64	--	--	100
MAGNESIO %	29.41	41.17	29.41	--	--	100
COBRE ppm	--	--	94.11	5.89	--	100
ZINC ppm	--	29.41	23.52	17.64	29.41	100
FIERRO ppm	--	--	47.05	23.54	29.41	100
MANGANESO ppm	--	--	88.24	5.88	5.88	100

Los Feozems tienen un porcentaje alto del área total analizada, para el suministro de calcio (85.72%) y magnesio (80.43%) de la superficie total, presentan deficiencias para el abastecimiento de estos cationes básicos, también las unidades como Andisoles con (75.55 % Ca) y (71.21 % Mg), Acrisoles

(82.34 % Ca) y (70.58 % Mg) se comportan de la misma manera para el cultivo de maíz (Cuadros 31, 32, 33 y 34).

MICROELEMENTOS

Los microelementos son importantes en la fisiología vegetal principalmente en actividades enzimáticas; los requerimientos son mínimos pero de gran relevancia para las plantas (Romheld and Marschner, 1995). La disponibilidad de microelementos para las plantas se relacionan con los niveles presentes en fracciones en equilibrio con la solución del suelo y la velocidad con que son renovados en dicha solución, una vez que se agotan [Cox y Kamprath (1972) citado por Vallejo y Hernández (1993)], para los diferentes nutrimentos se tiene el valor medio para cobre con una media de (15.704 ppm), Zinc (87.26 ppm) y Manganeseo (63.41 ppm), se les consideran dentro del nivel de **suficiente**. Hierro (261.51 ppm) ubicado en un nivel **alto** (cuadro 27), la materia orgánica se clasifica como rica ya que es una fuente importante de microelementos para los cultivos (López *et al.*, 1990).

HIERRO Y MANGANESO

En hierro las parcelas entran en el nivel de **suficiencia** con el 58.79% de su superficie, 23.60% **alto** y 23.66% como **tóxico** (Cuadro 29), los Acrisoles tienen el valor más alto con 299.30 ppm y los Vertisoles 221.30 ppm, se considera el más bajo, por lo que municipio de Donato Guerra con una concentración de 285.80 ppm el valor más alto se ubica en el nivel tóxico y Valle de Bravo con 203.64 ppm que se ubica en nivel **alto**. Con que esto puede ser debido a el pH que es una característica edáfica que interviene en la disponibilidad de hierro en el suelo y esto se observa en los Acrisoles presentes ya que estos son los suelos más ácidos y por el contrario los Vertisoles son de reacción neutra 221.30 ppm presenta los menores valores.

Cuadro 33. Porcentaje nutrimental del maíz en los Feozem.

NUTRIMENTO	NIVEL					TOTAL %
	DEFICIENTE	BAJO	SUFICIENTE	ALTO	TÓXICO	
NITRÓGENO (%)	--	42.85	57.14	--	--	100
FÓSFORO (%)	--	71.42	28.57	--	--	100
POTASIO (%)	--	--	100	--	--	100
CALCIO (%)	28.58	57.14	14.28	--	--	100
MAGNESIO (%)	28.57	42.86	28.57	--	--	100
COBRE (ppm)	--	--	100	--	--	100
ZINC (ppm)	--	--	28.57	28.57	42.86	100
FIERRO (ppm)	--	--	28.57	28.57	42.86	100
MANGANESO (ppm)	--	--	71.44	14.28	14.28	100

Con respecto al manganeso el 5.3% de las parcelas se ubican en el nivel de **bajo-deficiente**, debido a los malos manejos de cal agrícola en la zona, es una de las principales causas que provoca los bajos porcentaje del nutrimento hasta provocar deficiencias de manganeso, el 87.8% **suficiente**, 4.58% **alto** y solo el 2.29% como **tóxico** (Cuadro 29), los Feozem tienen el valor más alto con 128.52 (ppm) y el menor los Leptosoles 24.50 (ppm), el municipio de Villa Victoria 97.91 (ppm) es el más alto y 36.04 (ppm) más bajo se ubica en Valle de Bravo. Estos dos microelementos se ven afectados por las características edafológicas en la disponibilidad de estos, entre lo que destaca a estos factores son: disponibilidad por parte del material parental, materia orgánica y principalmente por la acidez del suelo (Shoji *et al.*, 1995).

Otra causa de la disponibilidad de este nutrimento lo determina el hierro ya que el incremento en la concentración de Fe en medio nutritivo produce la disminución de la absorción de Manganeso en soya; éste fenómeno también se ha distinguido en varias especies como trébol rojo, *Juncus effusus L.* y Judia; También, en tomate se registró un incremento en la absorción y transporte de Manganeso a bajas concentraciones de Fe, sin embargo, con altos niveles de Fe en solución, el Mn absorbido permanecerá acumulado en la raíz y los contenidos de manganeso en hoja disminuyen debido a los aumentos en la concentración de Fe en diferentes tratamientos, esto se maneja como antagonismo en la absorción de manganeso donde no hay cambios en el crecimiento del cultivo en absorción por las plantas tal como lo reporta (Leidi y Gómez, 1991).

CUADRO 34. Porcentaje nutrimental del maíz en Vertisoles.

NUTRIMENTO	NIVEL					TOTAL %
	DEFICIENTE	BAJO	SUFICIENTE	ALTO	TÓXICO	
NITRÓGENO (%)	10.00	10.00	80.00	--	--	100
FÓSFORO (%)	--	50.00	50.00	--	--	100
POTASIO (%)	--	20.00	70.00	10.00	--	100
CALCIO (%)	40.00	30.00	30.00	--	--	100
MAGNESIO (%)	10.00	40.00	40.00	10.00	--	100
COBRE (ppm)	--	--	90.00	10.00	--	100
ZINC (ppm)	--	50.00	40.00	--	10.00	100
FIERRO (ppm)	--	10.00	50.00	20.00	20.00	100
MANGANESO (ppm)	--	--	90.00	10.00	--	100

COBRE

El cobre presenta una media de 15.70 (ppm) que se considera como **suficiente** (Cuadro 27); el cobre es un microelemento que juega un papel importante en la nutrición de la planta y de los

animales principalmente en actividades enzimáticas, en algunos suelos derivados de cenizas volcánicas puede haber deficiencias, aunque esto depende del material parental, y mucho menos en el riolítico. En las parcelas de la Subprovincia, el 93.12% presentan **suficiencia** y el 6.12% en nivel **alto**, esto hace suponer que material parental que aporta este nutrimento son tefras basálticas que generalmente abastecen adecuadamente el crecimiento de las plantas [(Kobayashi and Shoji, 1976; Saigusha et al., 1976 citado por Shoji, 1993; Owache *et al.*, 1996)].

Donato Guerra presenta valores de 16.85 (ppm) y es el municipio que aporta mayor Cobre para el crecimiento de las plantas y el que menos aporta es Villa Victoria con 14.17 (ppm). Por consiguiente las unidades de suelo que presentan la deficiencia son los Leptosoles, Acrisoles con mayor aportación de cobre; lo que se asegura que el material parental que forman los suelos volcánicos tienen un buen aporte de cobre por ejemplo el vidrio volcánico aporta 9.0 (ppm) que es la fuente principal de Cu en suelos volcánicos. Aún los altos contenidos de materia orgánica que provoca una inmovilización en los horizontes superficiales, formando complejos con Cu órgano minero-arcillosos, la participación no son tan relevantes de los compuestos orgánicos, en el suministro de este elemento ya que la aportación del Cu se debe a diversos tipos de fuentes, por lo tanto no provocan una deficiencia a los cultivos de maíz (Shoji *et al.*, 1993).

ZINC

En la zona, el zinc tiene una media para zinc 87.26 (ppm) se considera como **suficiente** (Cuadro 27). De igual manera que Cu, el vidrio volcánico es la principal fuente de Zinc en los suelos derivados de cenizas volcánicas; ya que el porcentaje de 32.82% de las parcelas se considera bajo, 38.94% suficiente, 4.58% alto y 23.66% tóxico (Cuadro 29). La acumulación de Zn en el horizonte con humus recientemente formado es un factor considerable en la fracción disponible de este elemento dado su geociclo, por lo que se supone que los complejos Zn órgano-arcillosos no son tan estables como los de cobre por lo que se encuentra más disponible para las plantas.

Los municipios con mayor presencia de Zn son Villa Victoria 104.52 (ppm) y Villa de Allende 97.20 (ppm) con mayor proporción en estos municipios tenemos a los Andisoles (86.22 ppm) y Acrisoles (108.29 ppm) que dieron los valores más altos; en cambio Donato Guerra (48.75 ppm) presentó el valor más bajo 18.75 (ppm), los Leptosoles 39.75 (ppm) y Feozem 38.37 (ppm) se deberá mantener análisis continuos para evitar deficiencias en maíz. Lo que hay que resaltar es que en los suelos derivados de cenizas volcánicas los microelementos (Cu, Fe, Zn y Mn) no son deficientes aun al agregar porqueraza u otro tipo de estiércol al suelo, que una de sus beneficios es aportar micronutrientes para las plantas (Rosas, 1996; Shoji *et al.*, 1993).

BALANCE NUTRIMENTAL DEL CULTIVO DE MAIZ

Los rendimientos máximos de los cultivos no sólo dependen del factor de intensidad sino también están en combinación con el propio balance de todos los nutrimentos (Marsner, 1995). Los análisis nutricionales que se realizan en diferentes estructuras morfológicas de las plantas, son de gran importancia en la productividad agrícola, pues permiten caracterizar las relaciones productivas vegetales y asociarlas al medio físico y químico en que ellas se desarrollan [(González, 1995 citado por Pérez y González 1996)].

Van Noordwijk *et al.*, (1990) citado por Marsner (1995) menciona que los análisis químicos de planta, pueden ser útiles para proporcionar nuevas técnicas de fertilización o proponer modelos de simulación para predecir los requerimientos nutricionales y estos puedan proporcionar a los cultivos una opción para las recomendaciones de formulas de fertilización, sin la necesidad de depender en las mediciones químicas de suelos. Los minerales como fósforo, potasio, calcio y magnesio durante el crecimiento podrían ser deficientes entre gramíneas y leguminosas, estos macronutrientes están íntimamente relacionados con el porcentaje de C/N en el metabolismo de las plantas; éstos balances juegan un papel importante en el desenvolvimiento de la fotosíntesis y otras actividades fisiológicas de la planta (Osaki, *et al.*, 1996).

Nitrógeno-Fósforo

El balance óptimo para maíz se presenta en el cuadro 35, se estima que la relación es de 12 (12/1), al comparar la media 9.02 de la zona de estudio se observa que para nitrógeno se ubica en un nivel bajo y para fósforo es bajo-suficiente, la producción es 3,900 Kg/ha, se consideran rendimientos bajos en la zona si tomamos en cuenta las dosis de fertilización hasta 100-50-10, uno de los problemas nutrimentales lo presenta el nitrógeno que está por debajo del nivel optimo, por lo que, se considera como una limitante importante en la relación N/P que es favorecida en la absorción de fósforo, por lo que la baja disponibilidad del suelo y la baja absorción del nitrógeno por las plantas es un problema que debe de profundizarse al nivel fisiológico del cultivo y/o al ciclo biogeoquímico de este elemento esencial (Osaki, *et al* 1996).

La relación directa entre N/P, propicia los siguientes problemas fisiológicos, en primer instancia, sobre una deficiencia de fósforo: la adsorción de nitratos y reducción del mismo a amonio llega a retardar la síntesis de proteínas (Schjorring, 1986; Ruffly *et al.*, 1990; citados por Marschner, 1995), cuando el nitrato es presente en la asimilación de la solución del suelo hay una acumulación de fosfato por lo tanto decrece la traslación de la raíz a la parte aérea de la planta (Lamze, 1984; Debreczeni and Sisak, 1996). La relación de N y P en el metabolismo están relacionados indirectamente con el metabolismo del carbono, en funciones del piruvato carboxilasas (PEPC), no sólo el nitrógeno como nutrimento está relacionado en actividades fotosintéticas sino también el fósforo y se considera al fósforo un elemento importante en el procesos bioquímicos como la fotosíntesis, respiración, procesos energéticos y metabolismo en el carbono (Osaki *et al.*, 1995).

Amanalco presenta una relación de 7.46 y los rendimientos son los más altos de la zona con 4,550 Kg./ha junto con Villa de Allende 4,300 kg./ha con un balance de 9.38, este intervalo se considera como el más adecuado para obtener rendimientos altos, sin embargo, Valle de Bravo con 9.08 cae dentro del mismo intervalo establecido en el cuadro 35, pero las características de uso y manejo de suelo, problemas con otras relaciones nutrimentales hacen que tenga los más bajos rendimientos, los municipios de Donato Guerra y Villa Victoria (9.47 y 9.75) tienen unas relaciones muy semejantes a los municipios anteriores y también en los rendimientos (Cuadro 36).

Los Andosoles presentan rendimientos de 4,164 Kg./ha, en éste se tiene una relación 9.32, las relaciones de los Vertisoles son 8.4 y Feozems con 9.81 estos tienen rendimientos de 3,640 Kg./ha, y los Leptosoles con 8.23; la relación N/P es importante cuando ambos nutrimentos se presentan con

deficiencia en fósforo y nitrógeno es muy marcada en esta unidad de suelo, con una producción de 2,000 Kg./ha; Arnon, (1975) cita los efectos que tiene el NH_4 sobre la asimilación de fósforo, ya que estimula la absorción de este por la planta aún más que los nitratos si se considera que la fertilización en la zona se realiza con sulfato de amonio. Otro proceso que incrementa la eficacia del fósforo es la nitrificación, uno de sus beneficios es aumentar la solubilidad de compuestos fosfatados aplicado en fertilizantes, se considera una causa de reacción de suelo. Los efectos del nitrógeno en la absorción de fósforo se deben a aspectos morfológicos, químicos y fisiológicos o en combinación de estos; una respuesta es el incremento del área de interacción de la raíz formando una mayor área de absorción de nutrimentos. (Adams, 1980; Wolworth. *et al.*, 1986).

Balace Nitrógeno/ Potasio

La relación N/K el valor óptimo queda entre 1.57, el promedio de la zona de estudio es de 1.13 y es menor debido a que potasio se ubica en nivel de suficiente y nitrógeno en un nivel bajo, una deficiencia nutrimental de nitrógeno ocasiona problemas como: i) contribuye a la estabilización enzimática, ii) La cantidad de nitrógeno soluble incrementa con deficiencias de K, provocando que la síntesis de proteína disminuya con la deficiencia de potasio, si se aumentara el porcentaje de nitrógeno en la planta de maíz la materia seca incrementa exponencialmente, por lo tanto, los rendimientos estarían de la mano con la productividad (Osaki, *et al* 1995).

Cuadro 35. Relaciones nutrimentales para cada elemento de las clases nutricionales en la hoja opuesta a la mazorca (jilote) en la etapa de floración.

Balace	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	K/P	K/Ca	K/Mg	P/Mg	Ca/P	Ca/Mg	P/Zn	Fe/Mn	Fe/Cu	Fe/Zn	Zn/Cu	Mn/Cu
Alto/Alto	7.77	1.29	3.5	6.86	6.02	2.71	5.31	0.882	2.20	1.96	37.5	1.33	2.55	2.09	6.08	8.75
Alto/Suf.	9.85	1.58	4.96	9.85	7.63	3.84	7.63	1.26	2.81	2.81	57.69	1.33	2.55	2.09	8.57	12.50
Alto/Bajo	19.4	2.59	11.47	23.33	15.05	8.88	18.06	3.0	5.55	6.66	200.0	1.33	2.55	2.09	24.0	35.0
Alto/Def.	31.8	3.5	17.5	35.0	24.63	13.55	27.01	4.5	9.09	10.0	450.0	1.33	2.55	2.09	40.0	58.33
*Niv. Crit. / Niv. Crit.	12	1.57	7.5	12	7.6	4.75	7.6	1.0	1.6	1.6	2083	1.43	12.55	2.09	6.0	8.75
Suf./Alto	6.78	1.12	3.05	5.99	3.0	1.35	2.64	0.852	1.67	1.59	30.0	0.714	6.25	1.225	3.00	3.37
Suf./Suf.	8.6	1.38	4.33	8.6	3.8	1.91	3.8	1.20	1.98	1.98	57.69	1.08	8.92	1.6	5.57	6.21
Suf./Bajo	16.9	2.26	10.01	20.36	5.55	6.66	13.32	3.0	3.91	4.70	180.0	6.75	25.0	5.55	18.0	23.0
Suf./Def.	27.7	3.05	15.27	30.55	8.88	13.55	27.10	4.5	6.4	7.05	350.0	12.5	41.6	12.5	27.0	38.50
Bajo/Alto	6.78	1.12	3.05	5.99	3.0	1.35	2.64	0.852	1.67	1.59	30.0	0.085	0.75	0.125	1.12	1.12
Bajo/Suf.	8.6	1.38	4.33	8.6	3.8	1.91	3.8	1.20	1.98	1.98	57.69	0.130	1.07	0.19	1.6	1.6
Bajo/Bajo	16.9	2.26	10.01	20.36	5.55	6.66	13.32	3.0	3.91	4.70	180.0	0.810	3.0	.666	4.5	3.7
Bajo/Def.	27.7	3.05	15.27	30.55	8.88	13.55	27.10	4.5	6.4	7.05	350.0	1.5	5.0	1.50	7.5	6.16
Def./Alto	6.78	1.12	3.05	5.99	2.22	1.96	1.96	0.215	0.44	0.392	9.16	0.057	0.50	0.083	0.50	0.50
Def./Suf.	8.6	1.38	4.33	8.6	2.81	2.81	2.81	0.309	0.56	0.562	14.1	0.086	0.714	0.128	0.71	0.714
Def./Bajo	16.9	2.26	10.01	20.36	5.55	6.66	6.66	0.753	1.11	1.33	48.88	0.54	2.0	0.444	2.0	2.0
Def./Def.	27.7	3.05	15.27	30.55	9.09	5.00	10.0	1.10	1.81	2.0	110.0	1.0	3.30	1.0	3.3	3.30

* Nivel crítico/Nivel crítico. Considerado como relación óptima para el balance nutrimental del cultivo de maíz.
Intervalo donde se ubican los valores obtenidos del balance nutrimental de maíz en la Subprovincia de Mil Cumbres

La relación que presentan los municipios de Amanalco y Villa de Allende (1.10 y 0.99) donde se tienen los rendimientos más altos con un promedio de 4,400 kg./ha, en Villa Victoria 1.27, Donato Guerra 1.19 sus rendimientos son muy parecidos con una diferencia de 300 Kg, esto se debe a la relación directa que hay en los rendimientos con los balances de cada uno de los municipios, en Valle de Bravo su balance 1.14 y este valor no influye en la baja producción en maíz (Cuadro 35).

Los suelos con mayor problema son los Leptosoles con rendimientos de 2,000 kg./ha, en Vertisoles, Feozems y Acrisoles la diferencia de sus balances es pequeña y está relación no se refleja en los rendimientos, los Andosoles se tiene rendimientos hasta 4,164 kg./ha (Cuadro 36), el nitrógeno es requerido en altas cantidades por las plantas en la agricultura, al igual que el potasio solo en períodos de crecimiento la demanda es mayor. La práctica de fertilización debe ser lo más óptima para las necesidades, ya que tienen un dramático incremento en aplicación para plantas de maíz, se utilizan fuentes como la urea y sulfato de amonio, las consecuentes pérdidas de nitrógeno en suelos son excesivas en áreas de cultivo intensivo, esto se considera como una fuente excesiva para la contaminación ambiental y la acidez de se incrementa y afecta al el cultivo (Shoji *et al.*, 1993).

El maíz es uno de los muchos cultivos en que la absorción de nitrógeno y potasio, que es igual en cantidades, se puede obtener al realizar una adecuada fertilización de N, K y P; una aplicación dosificada en los cultivos aumenta los rendimientos como arroz y trigo (Dobermann and Cassman, 1996 i); sin embargo trabajos descritos por Arnon (1975) menciona que excesivas cantidades de potasio interviene en la nutrición de nitrógeno, por lo que se debe de profundizar en esta interacción en la zona de estudio ya que los suelos donde se cultiva el maíz los contenidos de potasio se presentan en niveles suficientes- alto en contraste con las concentraciones de nitrógeno.

Balance Nitrógeno/Calcio; Nitrógeno/Magnesio

La relación teórica nitrógeno calcio la adecuada es 7.5 (Cuadro 35), el promedio general de la zona de estudio es de 8.09, el municipio con mayor problema es Villa Victoria con una relación de 9.07, con rendimientos de 3,900 kg./ha, en cambio Villa de Allende, Amanalco y Donato Guerra presenta valores muy semejantes (7.9, 7.5 y 7.5) con promedio de rendimientos 4,000 kg./ha para incrementar los rendimientos se recomienda un incremento y una adecuada fertilización de nitrógeno ya que trabajos mencionan que el incremento en nitrógeno en cualquiera de sus formas, incrementa la absorción de calcio (Arnon, 1975); Valle de Bravo con 8.61 se aproxima a la media de la zona; sin embargo, los rendimientos fluctúan hasta 3,500 kg./ha, la deficiencia es estos dos nutrimentos (Cuadro 36). Los problemas en Villa Victoria son la deficiencia en calcio ya que se tiene buenos niveles en nitrógeno; por lo tanto, adicionar calcio sirve para mejorar su balance y en consecuencia incrementar los rendimientos del municipio.

En el cultivo de maíz el balance de los nutrimentos como N/Mg teórico es de 12.0, los valores de los municipios y unidades de suelo son los siguientes: Villa Victoria con una relación de 17.8, Amanalco con 15.1, Villa de Allende con 15.1 y Donato Guerra con 12.6, estos dos últimos se acerca a la requerida por el cultivo de maíz; por lo tanto, se tienen los rendimientos mayores de la zona. Al aumentar las cantidades en nitrógeno disponible para las plantas no se debe de descuidar estas relaciones entre N/Ca y N/Mg ya que presentan un balance inadecuado, es resultado a que estos tres nutrimentos se ubican en un nivel bajo, por lo que si se aumenta a uno de ellos, se deben de agregar los demás de acuerdo a los requerimientos de cada uno.

Balance Potasio/Fósforo

El balance de K/P óptimo es 7.6 (Cuadro 35), con una media de 7.95 en términos generales la relación en los municipios no esta muy lejos de la óptima, en cambio, Villa de Allende con 8.52 y Valle de Bravo con 8.18, son los municipios con mayor desviación al valor teórico, Donato Guerra

7.92 y Amanalco 7.53 son municipios con altos rendimientos en maíz. Las Unidades de suelo con valores más cercano es Vertisol 7.72, Acrisol 7.97, Feozem 7.81. El Andosol por presentar el potasio con mayor disponibilidad es la relación más alta con 8.0; sin embargo, al ser favorecida se presentan altos rendimientos en el cultivo. El potasio es un elemento que se encuentra en valores de suficiencia-alto, y esto se refleja en todos los valores que sobrepasan el valor ideal, la interacción dentro de la planta la relación K/P juega un papel destacado no solamente metabólico sino también la producción de ácidos orgánicos en el balance catión-anión Adams, (1980); en la zona esta relación no interviene en los bajos rendimientos.

Balance Potasio / Calcio

El balance en la zona de estudio para K/Ca, indica que el valor óptimo con respecto a los valores críticos es 4.75 la relación de la zona de estudio es de 2.4, esto indica que influye el potasio en la absorción de calcio por la planta, los valores suficientes de potasio absorbidos por la planta, si se compara los niveles de calcio asimilado, tanto las deficiencias de calcio por parte del suelo y el antagonismo de estos dos nutrimentos provocan que las relaciones favorezcan al potasio. Los municipios con mayor problema en la relación es Valle de Bravo 7.74, Amanalco 7.6, Villa de Allende 7.19, Villa Victoria 7.10, en las unidades de suelo son los Vertisoles 7.75, Acrisoles 7.26, Andosol 7.14 y Feozem 7.12, la adición de calcio en cantidades optimas favorecerá esta relación para maíz y este balance repercute en los bajos rendimientos de la zona de estudio.

Balance Potasio /Magnesio

Para K/Mg la relación es de 7.6, (Cuadro 35) es la adecuada para una buena interacción, sin embargo, tanto como el calcio y magnesio se ve influenciado por la absorción de potasio ya que hay un déficit de magnesio en relación de 5 partes más de potasio, se refleja la deficiencia del suelo por lo tanto la falta de absorción de magnesio por las plantas de maíz. Los municipios de Amanalco (15.25), Villa Victoria (13.97) y Villa de Allende (12.43) son los municipios con mayor problema del balance nutrimental son estos donde los porcentajes de potasio son más alto en suelo y en tejido vegetal. Por lo que las unidades de suelo más representadas son Andosoles (12.91), Acrisoles (15.4) y Feozem (12.13), los problemas edafológicos se reflejan en la nutrición del cultivo por lo que se recomienda atender la deficiencia de magnesio en la zona de estudio. Esto se corrobora con lo establecido por la literatura ya que desde 1963, donde investigadores han determinado las interacciones de potasio en relación con nutrimentos en especial con Ca y Mg y fueron establecidas correlaciones negativas entre concentraciones de potasio en cultivos de maíz y esto corresponde a los niveles de Ca y Mg, que presentan un antagonismo entre estos cationes básicos en la nutrición del maíz (Arnon, 1975; Valdés y Olivares, 1997); el sinérgismo se presenta en arroz donde altos porcentajes de Ca y Mg contribuyen a deficiencias de potasio (Dobermann, *et al.*, 1996). Algunas características ambientales influyen en la relación K/Ca y K/Mg por ejemplo a mayor temperatura la relación disminuye y la humedad reduce el contenido de potasio en la planta (Marsnher, 1995).

Balance Fósforo / Calcio

En la relación entre Ca/P la asimilación de las plantas es de 1.6:1 con una media de 1.01 aunque los valores sean menores en calcio y fósforo, representan un problema en la nutrición de la planta. Los

municipios de Donato Guerra con una media de 0.775 y Amanalco con 0.992 tienen los rendimientos más altos de la zona con este intervalo, el déficit de calcio se hace presente con mayor relevancia en Vertisoles (0.995), la deficiencia de calcio se hace presente por las diversas causas de acidificación del suelo; en los Andosoles con (1.11) disminuye el fósforo disponible por las características químicas, mineralógicas de estos suelos, esto nos permite suponer a la deficiencia de fósforo se debe principalmente por la presencia de materiales no cristalinos y también por la acidez, en los Leptosoles 1.22 se considera la baja disponibilidad de fósforo, debido a las condiciones propias de éste orden.

Balance Fósforo / Magnesio

Para P/Mg la relación idónea es de 1.0 y se presenta una media de 1.60, lo que indica una deficiencia de magnesio en su balance con fósforo, en Amanalco con 2.02, lo que ayuda a tener altos rendimientos de maíz es el mayor contenido de fósforo, si se compara con los demás municipios que presentan valores más bajos, así como Villa Victoria (1.82), Villa de Allende (1.46), Donato Guerra (1.33) y Valle de Bravo (1.37); los Leptosoles (2.08) y Acrisoles (1.93) muestran una relación estrecha entre estos, en comparación con los Andosoles (1.61), Feozems (1.55) y Vertisoles (1.23); lo que indica que existe en su balance nutrimental un sinérgismo positivo entre fósforo, calcio y magnesio debido a su relación en actividades metabólicas de estos nutrientes, en los contenidos de las plantas, como la activación del sistema de la enzima kinasa o en transformaciones de fosfatos (Adams, 1980; Valdés y Olivares, 1997).

Balance Calcio / Magnesio

La relación ideal de Ca/Mg es de 1.6 (Cuadro 35), y en la zona se presentan valores de 1.77, las interacciones entre estos dos elementos no presentan ningún antagonismo, con una correlación de (0.14219) sin significancia, Amanalco (2.01) y Villa Victoria (1.96) tienen los rendimientos más altos, las deficiencias de magnesio se hacen presente en Donato Guerra (1.71), Villa de Allende (1.72) y Valle de Bravo (1.48); las deficiencias en magnesio y calcio se denotan por los bajos rendimientos 3,500 kg./ha. En cuanto a las unidades de suelo, los Acrisoles, Leptosoles, el desbalance de magnesio se justifica por ser suelos muy ácidos, en Vertisoles y Andisoles la relación se considera adecuada junto con los Feozems, lo que se recomienda es elegir apropiadamente el producto de encalado, el mejor es dolomita para evitar aun más el desbalance de estos dos nutrientes.

RELACIONES MACRONUTRIMENTO /MICRONUTRIMENTO.

Balance Fósforo / Zinc

Numerosos experimentos han demostrado las interacciones entre P-Zn [(Bingham, 1963, Bingham & Garber 1960; Bingham *et al.*, 1958 citados por Adams (1980)]. Sé ha demostrado que la alta fertilización de fósforo inhibe la absorción de Zn tanto en leguminosas y papa, esto da como resultado el disminuir el metabolismo normal así como algunos otros nutrientes entre los que interviene en potasio, nitrógeno disponible, contenidos altos de Fe en planta (Adams, 1980). La relación de fósforo y zinc con un valor óptimo de 20.83, la media de la zona de estudio fue de 37.39,

el fósforo interviene íntimamente en la disponibilidad del Zinc hasta del doble debido a la alta fertilización de fósforo que interviene en la nutrición de las plantas, en los municipios de Donato Guerra (52.09), Valle de Bravo (43.41), y Amanalco (41.51). No presentan problemas de estos nutrimentos los municipios de Villa de Allende (24.33) y Villa Victoria (25.65). Las unidades edafológicas como Feozem (68.12), Vertisol (43.43) y Leptosol (56.65), los Acrisoles (23.55) y Andosol (29.28), se acercan al valor ideal debido a las deficiencias de estos suelos de fósforo gracias a las características químicas de la zona y alta disponibilidad de Zn, principalmente los Andosoles (Shoji, 1995; Wendt, *et al.*, (1996). La elevada fertilización con productos como superfosfato simple triple por parte de los agricultores, provocan deficiencias en absorción de zinc, otras prácticas de cultivo como la densidad de planta y el nitrógeno este último es deficiente interviene en la baja disponibilidad de este micronutriente (Romero, 1996), así como otros cationes divalentes provocan deficiencias de Zinc (Parker, 1997). De tal manera se confirma al maíz como una de las especies cultivadas sensibles a la baja concentración de zinc en planta, aun sin ser deficiente en la zona de estudio, esto es debido a las altas cantidades de fertilización de fósforo al suelo incrementando este en tejido, debe de realizar investigación de dosis de fertilización para evitar que exista interacción negativa de los dos nutrimentos.

RELACIONES MICRONUTRIMENTO/MICRONUTRIMENTO

Balance Hierro/Manganeso

La interacción en suelos ácidos de elementos como Fe/Mn es tan importante ya que uno reduce la presencia del otro hasta ser deficiente cuando hay toxicidad de uno de ellos (Marschner, 1995; Leidi y Gómez, 1991), la media 4.85 (Cuadro 36) comparada con la ideal 1.43 (Cuadro 35) indica la presencia de hierro en condiciones alta y tóxica interfiere en la asimilación de manganeso. Villa de Allende presenta un balance de 6.0, Valle de Bravo con 5.56 y Donato Guerra con 6.47 son los municipios que presenta valores altos de hierro, provocando que la relación se inclina hacia una mayor deficiencia de manganeso, pero sin ser perjudicial, en la actualidad no se reportan deficiencias de manganeso en cultivo de maíz. El Leptosol (9.45) Andisol (4.95) y Vertisol (3.80) son las unidades de suelo con mayor problema en esta relación de micronutrientos; no solamente el maíz presenta una alta relación de este balance que se inclina al hierro, hay otros cultivos como triticale y trigo, trabajos realizados en comunidades del municipio de Villa Victoria (Hospital y Laguna seca) así mismo en el municipio de Villa de Allende en la comunidad de Barrio de Santiago se comportan de la misma manera, presentó altos niveles de hierro, siendo el balance favorable a éste elemento (Bautista, 1997).

Balance Hierro/Cobre

El balance entre Fe/Cu el valor adecuado de 12.55, la media de la zona es 16.11, esta relación favorece al hierro en los municipios de Donato Guerra 16.96, Villa de Allende 18.58 y Villa Victoria 17.99, relacionando estos valores con los contenidos altos de materia orgánica que influyen en la suficiente disponibilidad de cobre para las plantas sin ser deficiente, la unidad de suelo con problemas de balance son los Acrisoles 18.72 son los suelos más ácidos de la zona de estudio con mayor disponibilidad de hierro; la concentración de cobre influyen en algunas actividades

enzimáticas como la enzima málica, glutamato-deshidrogenasa y ICDH que se incrementa con el contenido de cobre en la raíz (Mocquot, *et al.*, 1996).

Cuadro 36. Relaciones nutrimentales en la hoja opuesta a la mazorca (jilote) en la etapa de floración en los municipios y unidades de suelo.

MUNICIPIO	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	K/P	K/Ca	K/Mg	P/Mg	Ca/P	Ca/Mg	P/Zn	Fe/Mn	Fe/Cu	Fe/Zn	Zn/Cu	REND. Kg/Ha
Villa Victoria	9.75	1.27	9.072	17.82	7.64	7.10	13.97	1.827	1.07	1.965	25.65	2.61	17.99	2.44	7.37	3939.0
Villa de Allende	9.38	1.10	7.93	13.71	8.52	7.19	12.43	1.46	1.18	1.72	24.33	6.00	18.53	2.75	6.72	4301.1
Amanalco	7.46	0.99	7.52	15.12	7.53	7.6	15.26	2.02	0.992	2.01	41.51	3.52	13.54	3.19	4.23	4550.0
Donato Guerra	9.47	1.19	7.35	12.62	7.92	6.14	10.55	1.33	0.775	1.717	52.09	6.47	16.96	5.86	2.89	3641.1
Valle de Bravo	9.08	1.114	8.61	12.55	8.18	7.74	11.26	1.37	1.06	1.458	43.41	5.65	13.57	3.77	5.59	3776.0
PRÓMEDIO	9.02	1.13	8.09	14.36	7.95	7.15	12.69	1.60	1.01	1.77	37.39	4.85	16.11	3.06	4.96	4000.
UNIDAD DE SUELO	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	K/P	K/Ca	K/Mg	P/Mg	Ca/P	Ca/Mg	P/Zn	Fe/Mn	Fe/Cu	Fe/Zn	Zn/Cu	REND. Kg/Ha
ANDISOL	9.32	1.16	8.32	15.04	8.00	7.14	12.91	1.61	1.11	1.80	29.28	4.95	16.13	2.89	5.56	4164.0
ACRISOL	9.34	1.17	8.50	18.03	7.97	7.26	15.40	1.93	1.09	2.12	23.55	2.70	18.72	2.76	6.81	3641.0
FEOZEM	9.81	1.22	8.95	15.23	7.81	7.12	12.13	1.55	1.09	1.702	68.12	2.04	16.00	6.86	2.77	3641.0
VERTISOL	8.4	1.08	8.44	10.37	7.72	7.75	9.53	1.23	0.995	1.22	43.43	3.80	15.36	3.67	4.18	3641.0
LITOSOL	8.23	0.968	6.74	17.17	8.50	6.96	17.74	2.08	1.221	2.54	56.65	9.45	13.95	5.82	3.87	2000.0
PRÓMEDIO	9.02	1.13	8.09	14.36	7.95	7.15	12.69	1.60	1.01	1.77	37.39	4.85	16.11	3.06	4.96	4000.

Balance Hierro / Zinc

La relación de Hierro/Zinc es de 2.09, la media de la zona es de 3.06 que implica que el hierro influye en la absorción de zinc, en mínima proporción, los municipios con la relación mayor en hierro fue Donato Guerra (5.86), Valle de Bravo (3.77) y Amanalco (3.19), los suelos que tienen ese problema son los Feozem (6.86) y Vertisol con (3.67), en estas unidades edafológicas una característica química que se relaciona de manera íntima es el pH, la disponibilidad de Fe, la poca disponibilidad de Zn y el incremento de fertilización de fósforo; ésta relación no sólo depende de hierro sino que también implica al manganeso dadas sus íntimas relaciones existentes (Romero, 1996).

Balance Zinc / Cobre

La relación presenta el Zinc/Cobre presenta un valor adecuado de 6.0, la media de la zona se ubica en 4.96 que influye en cierta cantidad el cobre, sin ser tan grave como en otras interacciones, Donato Guerra (2.89), Amanalco (4.23), presentan deficiencias en zinc y las unidades de suelo relacionados y que se aproximan al valor óptimo son Feozem (2.77), Litosoles (3.87) y Vertisoles (4.18); la deficiencia de zinc se asocia con una isoenzima (CuZnSOD) en sus diferentes funciones que produce un decremento en la actividad de esta enzima, perjudicando otras actividades metabólicas de la planta (Marsner, 1995). A estos suelos se debe de darse seguimiento a esta interacción nutrimental relacionando algunas características químicas como pH, materia orgánica, antagonismos y sinérgismos, etc.

Los rendimientos de la zona son influenciados por diferentes balances, por ejemplo en el municipio de Villa Victoria, los suelos predominantes son: Vertisoles, Feozems y Andosoles las relaciones que

intervienen en que este municipio son N/Ca y N/Mg la deficiencia de estas bases disminuye los rendimientos de maíz de este municipio.

Amanalco presenta los mayores rendimientos del cultivo de maíz, en este sitio las relaciones nutrimentales de N/Ca, N/Mg y K/P los valores son los más cercanos a los estándares para el cultivo de maíz, los balances de N/P y N/K no son los óptimos, más sin embargo, estos balances no intervienen de gran importancia para obtener altos rendimientos, para el maíz cultivado la deficiencia del nitrógeno no se considera una limitante debido a que las especies que se cultivan en la zona son más eficientes en la absorción y utilización de nitrógeno en cambio el fósforo se considera como un nutrimento con mayor grado de limitación para incrementar los rendimientos, se deduce al observar las relaciones de este elemento; en cambio estas interacciones se favorecen al fósforo N/P, N/K, P/Mg y Ca/P. Donato Guerra y Villa de Allende que presentan los mismos características que Amanalco al igual que los rendimientos son altos; son semejantes cuando se necesita mantener a lo más cercanos de los estándares propuestos en el cuadro 35, para obtener altos rendimientos.

La unidad edafológica, de mayor predominancia en la zona son los Andisoles, y estos son los más productivos, debido a que sus relaciones nutrimentales son las más cercanas de los niveles propuestos y/o obtenidas del nivel crítico; los Litosoles presentan problemas en los siguientes balance nutricionales N/P, N/K, N/Ca, K/P, K/Mg, P/Mg, Ca/P, y Fe/Mn donde los rendimientos son los más bajos de la zona, una limitante en los Vertisoles es el calcio respuesta de los diversos antagonismo de este elemento con el potasio por ejemplo la relación K/Ca; se recomienda adicionar materiales que contengan los macronutrientes Ca y Mg respondiendo a las inbalances nutricionales entre Ca/P y N/Ca y para disminuir los antagonismos pero se tiene que realizar un cuidado en no tener otras respuestas diferentes al sobre encalado

Se considera que los balances propuestos son de utilidad para estimar una adecuada nutrición de maíz y tener los más altos rendimientos, utilizando adecuadas prácticas de fertilización. Un factor importante para tener rendimientos óptimos es el pH que debido a las características del suelo interviene un microelementos como Fe que interviene en antagonismos con Mn, Cu y Zn.

DIAGNÓSTICO ÓPTIMO PORCENTUAL (DOP).

Los cuadros (37 y 38) nos muestran los resultados del diagnostico óptimo porcentual (DOP), que arrojó los siguientes requerimientos de los nutrimentos para los diferentes municipios y así mismo de las unidades de suelo que conforman a la zona. El macronutriente con mayor deficiencia es magnesio (-11.995) se presenta en los municipios de Villa Victoria y Amanalco (-17.721) y en todas las unidades de suelo y con mayor índice en los Acrisoles a excepto en los Vertisoles lo que refleja una deficiencia notoria de los suelos ácidos de la zona.

Cuadro 37 Índices DOP y orden de requerimiento nutrimental en maíz cultivado en los algunos municipios pertenecientes a la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.

MUNICIPIO	INDICES (DOP)									ORDEN DE REQUERIMIENTO
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	
VILLA VICTORIA	7.536	4.504	1.847	2.063	-11.995	-2.643	19.779	-9.768	54.407	Mg>Cu>Fe>K>Ca>P>N>Zn>Mn
VILLA DE ALLENDE	-5.462	-7.363	0.599	-0.426	-2.350	2.388	11.39	-7.921	-29.60	Mn>Cu>P>N>Mg>Ca>K>Fe>Zn
AMANALCO	-12.185	-8.264	4.043	-2.383	-17.721	-18.852	-23.699	11.39	-4.589	Zn>Fe>Mg>N>P>Mn>Ca>Cu>K
DONATO GUERRA	2.323	-0.626	0.349	16.399	14.828	8.872	-44.132	2.388	-30.373	Zn>Mn>P>K>N>Cu>Fe>Mg>Ca
VALLE DE BRAVO	-9.164	-8.343	-4.393	-11.810	2.471	-22.425	-38.230	-29.60	-43.163	Mn>Zn>Fe>Ca>N>P>Cu>K>Mg

Los macronutrientes como fósforo, nitrógeno y calcio son nutrientes que debido a su naturaleza y a las condiciones heterogéneas de la zona se encuentran distribuidos de tal forma que algunos municipios no presentan deficiencia y en otros es muy notoria por ejemplo, para fósforo en el municipio de Amanalco, Villa de Allende y Donato Guerra es el nutriente con mayor problema debido al origen edafológico y condiciones químicas presentes del suelo de la zona, el tipo de sustrato que predomina en estos municipios, y en especial los Andosoles, otro macronutriente que presenta problemas es el nitrógeno principalmente en Vertisoles y Litosoles donde los requerimientos son mayores que en otras unidades de suelo y en los municipios a excepto Villa Victoria los valores presentan altos requerimientos de nitrógeno.

Cuadro 38 Índices DOP y orden de requerimiento nutrimental en maíz cultivado en suelos presentes en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.

UNIDAD DE SUELO	INDICES (DOP)									ORDEN DE REQUERIMIENTO
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	
ANDISOL	0.110	-1.135	0.823	0.533	-5.725	-4.757	-1.191	-1.3627	-20.43	Mn>Mg>Fe>Cu>P>Zn>Ca>N>K
ACRISOL	1.323	-0.156	1.552	-0.355	-20.433	14.014	24.10	1.757	74.29	Mg>Ca>P>N>K>Cu>Fe>Zn>Mn
VERTISOL	-6.382	2.506	0.898	-7.328	27.787	-15.698	-30.593	-8.303	-8.374	Zn>Fe>Mn>Cu>Ca>N>K>P>Mg
FEZEM	8.933	2.193	1.797	1.743	1.265	0.293	-56.02	-11.805	102.68	Zn>Cu>Fe>Mg>Ca>K>P>N>Mn
LITOSOL	-21.19	-11.79	-4.343	-2.170	-34.90	-11.73	-54.446	-34.73	265.39	Zn>Mg>Cu>N>P>Fe>K>Ca>Mn

Las zonas de mayor rendimiento como Amanalco, las deficiencias de fósforo y nitrógeno son marcadas por lo que se supone es el tipo de maíz utilizado en la zona es apto para crecer en estas condiciones de estrés nutrimental, los requerimientos nutrimentales que esta zona indicados por el (DOP) son los siguientes Mg,> P= N= Ca>K.

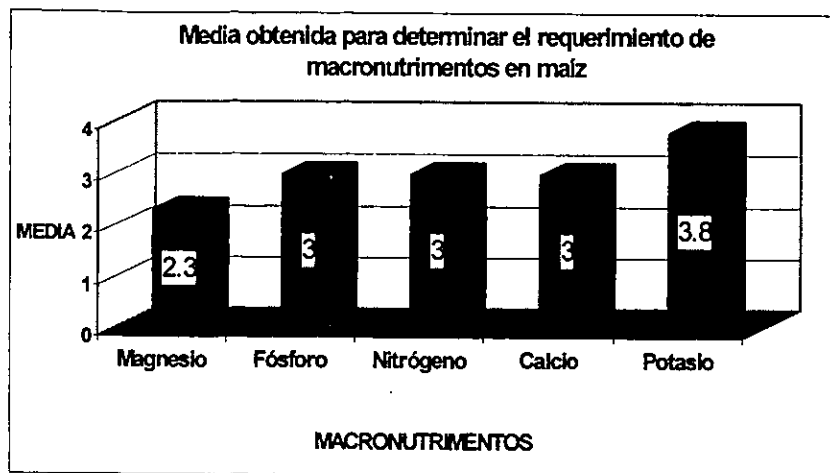


Fig. 4 Relación de requerimientos de nutrientes por el Método (DOP) para la Subprovincia geográfica de Mil Cumbres, Estado de México.

Los micronutrientes según la técnica del DOP, en muchos municipios y unidades de suelo se presentan con requerimientos altos en tejido vegetal, manganeso con valor de -43.163, en Valle de Bravo, otro ejemplo Zn -56.027 en Feozems. Rodríguez (1999) reporta también deficiencias en micronutrientes como en Fe y Zn en *Alstroemeria* híbrida en condiciones de hidroponía, otras metodologías como comparación nutricional con estándares (CNE) y relaciones nutricionales nos indican que los niveles presentes oscilan entre suficiencia y alto de estos elementos en la zona de estudio y la primera técnica nos proporciona información que no concuerda, por lo que no se tomaron en cuenta, debido a que la forma de obtener el porcentaje, se utiliza la media del nutriente, y para estos, (ver cuadro 38 y 39), todos los valores se ubican en suficiencia y alto y en el método de relaciones nutrimentales por ejemplo Fe/Mn es alta/ suficiente, por lo que el producto de la operación nos indica valores óptimos, estos se obtienen a partir de datos que se comparan con las técnicas utilizadas, por lo que no se recomienda la aplicación de está método; se descarta esta técnica para micronutrientes cuando estos presenten niveles de suficiencia a alto o/y cualquier otro elemento esencial que presente las mismas condiciones.

El orden de requerimiento es como se presenta en la Fig. 4 en primer lugar, el magnesio presenta el valor más pequeño (2.3) le sigue el nitrógeno, el fósforo y calcio (3.0) y al final potasio (3.8), por lo que este diagnostico permite señalar en el siguiente orden $Mg > N = P = Ca > K$, este orden se obtuvo; en base, a los cuadros 5 y 6 donde se le da un valor de acuerdo al orden que se presenta al nutriente, se realiza una sumatoria tanto en unidad de suelo como en municipio, se obtiene una media total y el resultado estableció el orden de macronutriente limitante en la Subprovincia de Mil Cumbres.

RELACIÓN DE NUTRIMENTOS DISPONIBLES DEL SUELO Y ABSORBIDOS POR LA PLANTA DE MAÍZ

NITRÓGENO

El comportamiento del nitrógeno, en especial el disponible del suelo, hacia la planta se debe gracias a la mineralización que efectúan los diferentes microorganismos en el suelo, la zona presenta un promedio de 50.79 kg./ha de nitrógeno total (Cuadro 39). El municipio de Villa Victoria tiene el valor más alto con 58.52 kg./ha, Donato Guerra, tiene una menor disponibilidad de nitrógeno del suelo con 43.48 kg./ha así como Amanalco 44.98 kg./ha; La unidad edafológica con mayor cantidad de nitrógeno disponible son los Vertisoles 73.38 kg./ha, los valores de los municipios donde se presentan los Andosoles contiene bajas cantidades de nitrógeno 48.21 kg./ha, las características del nitrógeno en estos suelos las describe Cruz *et al.*, (1990), menciona, el nitrógeno insoluble en condiciones acidez, es la fracción más cuantiosa y no mineralizable; varía del 23 al 75% respecto del nitrógeno total, los valores altos se presentaron en características más Andicas, este parámetro se puede asociar estrechamente con los porcentajes de alófan y también se relaciona con la baja tasa de mineralización que exhiben estos suelos. Los Feozems con 49.05 kg./Ha, a su vez presentan una baja mineralización de nitrógeno, por lo tanto, la fracción orgánica mineralizable del suelo, en especial el nitrógeno puede ser disponibilidad a largo plazo, los valores que corresponde al nitrógeno total hidrolizable fluctúa del 20 y 41% con respecto al nitrógeno total. De esta manera se menciona la dinámica del nitrógeno en el suelo en la zona de estudio, la materia orgánica del suelo contiene aproximadamente 5% por peso de nitrógeno, solo cerca de 1 a 5% de total es liberado (N-LIB) anualmente por descomposición (mineralización), en forma de amonio, este proceso es más rápido en suelos bien aireado y húmedos. El amonio mineralizado, tiene un corto período de vida en el suelo, una parte es absorbido en la superficie de las arcillas cargadas negativamente y a las partículas orgánicas, otros son usados directamente por las plantas, la mayoría de los iones de amonio son oxidados por bacterias selectivas (*Nitrosomonas* o *Nitrobacterias*) a nitratos. Este proceso es rápido a menos que el suelo sea fuertemente ácido, frío o húmedo [Donahue, (1981) citado por Cruz, (1997)]. Del nitrógeno liberado alguna fracción es asimilada por la microflora, otra es extraída por la planta, se pierde por lixiviación y más se pierde por desnitrificación (Cruz, *et al.*, 1988; Shapley and Smith, 1995).

La eficiencia de las plantas de maíz para la asimilación del nitrógeno en el municipio de Donato Guerra tiene la acumulación más alta (109.43 kg./ha), junto con Villa Victoria (102.53 kg./ha) los requerimientos y aplicaciones son más intensas, debido a los adecuados rendimientos de maíz, los municipios de Amanalco (75.17 kg./ha) y Valle de Bravo (53.50 kg./ha) son los más deficientes, las unidades de suelo como los Andosoles (97.97 kg./ha) aportan una mayor cantidad de nitrógeno a la planta, le sigue los Feozems (86.65 kg./ha), los Leptosoles con una absorción menor (37 kg./ha); Las diferencias entre disponibilidad y cantidad de nitrógeno en planta y en las unidades edafológicas es debido a la tecnología aplicada, en la adición del tipo de fertilizante, forma y cantidad de abono nitrogenado, la aplicación de limo en los cultivos de maíz, también interviene las características (químicas y biológicas) del suelo que intervienen en los procesos de mineralización en las diferentes unidades de suelo y en la capacidad de eficiencia de absorción del nitrógeno por las plantas de maíz; SEDAGRO recomienda la plantación de diversas variedades de semillas en la zona de estudio, dada la concentración de nitrógeno en tejido vegetal este varía en el intervalo de 0.5 a 5 % del peso total

de la materia seca, depende de la especie, tipo de tejido, edad del tejido y disponibilidad del contenido en la biomasa viva. [Larsson *et al.*, (1992) citado por Cruz, (1997); Osaki *et al.*, 1995], sin embargo, la liberación por mineralización puede ser muy lenta y su disponibilidad para las nuevas plantas puede estar limitada por factores que afectan la movilidad por competencia intra o inter específica o por desnitrificación, así el nitrógeno disponible puede ser el principal limitante en la producción del maíz en la zona.

Se debe de aplicar tecnología en la utilización de un tipo de fertilizante ya sea nitratos o de amonio ya que las principales formas de nitrógeno que las plantas absorben son los iones nitratos (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) pero en especial el primero; en la mayoría de los suelos el nitrato es la forma más abundante; sin embargo en suelos ácidos como los presentes en la zona, el amonio es el más predominante debido a que la nitrificación está fuertemente limitada, la mayoría de las plantas, crecen muy bien cuando son abastecidos con nitratos, de esta manera se comportan las variedades utilizadas y criollas cultivadas en la zona la eficiencia de la absorción se realiza gracias a las características de las fuentes de nitrógeno ya que las plantas que crecen y se desarrollan bien con el aporte de N-NO_3 , mejoran su rendimiento en peso seco hasta en el 50%; A diferencia de la adsorción de N:NH_4^+ , este es un proceso donde el NH_4^+ , no se acumula en células de raíz, la absorción y transporte de NO_3^- es un proceso activo, este se comporta de la siguiente manera, la diferencia de potencial de la membrana se opone a su entrada y la energía necesaria para la absorción de NH_4^+ influye directamente sobre la penetración de otros aniones (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-}), que disminuye la absorción de cationes divalentes. En diferentes experimentos se ha observado el remplazamiento de N-NO_3 por N-NH_4 , redujo el contenido de calcio; Hay factores que afectan la absorción de nitrógeno como el amonio que disminuye la actividad de la nitrato reductasa, deficiencias de Fe y Mo (constituyentes de la nitrato reductasa). Una situación como esta hace que los nitratos se acumulen y disminuyan la concentración de aminoácidos solubles.

FÓSFORO

El fósforo como nutrimento es de suma importancia y presenta un promedio de 26.26 kg./ha, del elemento en forma disponible donde se cultiva maíz. Los municipios de Villa Victoria, Donato Guerra representan los valores más altos de disponibilidad de fósforo con 46.94 kg./ha, 28.41 kg./ha respectivamente. Los más bajos son Villa de Allende (17.44 kg./ha) y Valle de Bravo (16.93 kg./ha), los Litosoles (2.25 kg./ha) y Andisoles (20.19 kg./ha), respectivamente, aportan menor cantidad de fósforo en forma disponible para las plantas, las otras unidades taxonómicas como Feozem (58.17 Kg./Ha), Acrisoles (40.62 Kg./Ha) y Vertisoles (48.92 Kg./Ha) (Cuadro 39), tienen mayor disponibilidad debido a sus características químicas de estos, sin embargo, la acidez es una de las principales causas de la fijación de fósforo. En suelos con alta fijación, sólo se ocupa una pequeña proporción del material usado en la fertilización de fósforo (normalmente del 5 al 15%) es asimilada por los cultivos, el fósforo que es aplicado y por reacciones sus diferentes reacciones la disponibilidad son mínimas, por ejemplo: la rápida fijación, el elemento se almacena casi permanente, por lo que la fertilización contribuye gradualmente al reemplazo del fósforo en la solución del suelo (Arnon, 1975). Se debe de complementar la disponibilidad del suelo con aplicaciones de abonos orgánicos e inorgánicos o mejoradores químicos para mantener el fósforo en concentraciones óptimas para ser disponible para las plantas en el período crítico de crecimiento y desarrollo, debido a que estos suelos puede disminuir gradualmente la disponibilidad de fósforo

gracias a la alta dinámica de retención de fósforo, resultado de sus características químicas y mineralógicas.

Los valores que presenta el tejido vegetal de fósforo en la etapa de formación del jilote, con una media general de 10.50 kg./ha en los municipios de Valle de Bravo (8.13 kg./ha), Donato Guerra (11.54 kg./ha), Amanalco (10.06 kg./ha) y Villa Victoria (10.17 kg./ha) se consideran bajos, el fósforo disponible, debido a que los iones fosfatos son envueltos en reacciones químicas en el suelo y numerosas reacciones metabólicas en la planta; es poco disponible y es afectado por la acidez que presentan todos los suelos en la zona de estudio, presentan los valores más bajos en disponibilidad de fósforo son los Acrisoles con 9.28 kg./ha, Feozems con 9.49 kg./ha y los Vertisoles con 9.52 Kg./ha es el reflejo de diversas características químicas, se observa que esto concuerda con los rendimientos cosechados en las diferentes unidades de suelo, en especial los Leptosoles se debe de realizar la aplicación de abonos y fertilizantes inorgánicos para tener formas dispensables, disponibles y así mantener adecuados rendimientos. La interacción de fósforo con sus mismos iones es de suma importancia para las plantas esto se debe a dos condiciones i) el exceso de otros iones que afecta la utilización de otros iones en la planta, ii) cuando son adecuados o viceversa de otros nutrientes inorgánicos que afecta la disponibilidad del fósforo.

CALCIO Y MAGNESIO

Los valores promedio de calcio 12.94 kg./ha y magnesio 6.45 kg./ha, las cantidades que se encuentra en el suelo para calcio son 2,894 kg./ha, magnesio 853 kg./ha, la disponibilidad de estas nutrientes depende de las propiedades químicas, como la capacidad de intercambio catiónica, Tisdale (1985), menciona que a una CICT alta la saturación de calcio aproximadamente 2,000 kg./ha, la disponibilidad de calcio para las plantas es mínima hasta presentar niveles deficientes, así como se presentada los niveles en el maíz en la zona de estudio, de igual manera se comporta el magnesio, la cantidad de magnesio también son bajos por lo que no tienen un adecuado suministro al maíz. Los suelos con mayor cantidad de calcio y magnesio son los Vertisoles (6,065 kg./ha), (1,213 kg./ha) y con menor cantidad son Feozems para calcio (1,834 Kg./Ha), es raro observar estos valores para esta unidad de suelo, esto es resultado de las prácticas de manejo de suelo, lo que provoca una acidificación, perdiendo bases intercambiables y en magnesio los Andosoles (655 Kg./ha), estos valores concuerdan con lo reportado por García y Hernández (1994). Para tener un adecuado abastecimiento de estos nutrientes se debe mejorar la CIC, utilizando los diferentes productos mejoradores de suelo, reportan Santos y Aguilar (1995) que mejoró la capacidad de intercambio catiónico con la aplicación de cal y estiércol de puerco, y en especial los materiales que contenga magnesio ya que es un problema que se puede ir acentuando a través del tiempo, si no se corrige su deficiencia.

POTASIO

Para potasio las deficiencias son mínimas o inexistentes en la disponibilidad del suelo, por ejemplo se aporta 753 kg./ha, con promedio 80.18 con kg./ha en tejido vegetal lo la ubica en un nivel de suficiencia, los suelos con mayor disponibilidad de potasio son los Andisoles 841.5 con kg./ha, y de igual manera la acumulación de potasio en planta se presenta en estos con 84.07 kg./ha, dado estos valores los municipios con valores más altos son Donato Guerra con 835 kg./ha y Valle de Bravo con 1,205 kg./ha cuadros (39 y 40).

MICRONUTRIMENTOS (Fe, Zn, Cu, Mn)

La disponibilidad de micronutrientos en el suelo es adecuada en especial para hierro con 74.84 kg./ha, zinc 6.50 kg./ha, manganeso 48.96 kg./ha y cobre 2.92 kg./ha sin presentar toxicidad, el municipio que presente los valores más bajos en estos micronutrientos es Villa de Allende con hierro 36.6 kg./ha, zinc 2.408 kg./ha, manganeso con 19.02 kg./ha y cobre con 1.117 kg./ha, Villa de Allende donde se obtienen los rendimientos mayores con 4,301.1 kg./ha, no así para Valle de Bravo, las cantidades de microelementos son los mayores en hierro con 120.28 kg./ha, zinc con 18.11 kg./ha, manganeso con 72.29 kg./ha y cobre con 6.49 kg./ha, pero al compararlo con los otros municipios aquí se obtienen los menores rendimientos debido a que este municipio es de economía forestal, ganadera y turística.

En tejido analizado en la hoja opuesta a la inflorescencia, presenta promedios para cada uno de los micronutrientos son, para hierro con 0.98 kg./ha, zinc con 0.249 kg./ha, manganeso con 0.225 kg./ha y cobre con 0.060 kg./ha, son adecuadas en la acumulación de micronutrientos en maíz, para los municipios se presentan una concentración de hierro altos en Amanalco con 1.29 kg./ha y Villa de Allende con 1.15 kg./ha, en este municipio también para zinc con 1.29 kg./ha y baja en manganeso 0.191 kg./ha, de igual manera en cobre ambas localidades tienen alta concentración; Donato Guerra con 0.076 kg./ha y Villa de Allende con 0.062 kg./ha, nos da la pauta para la investigación de estos nutrientes y así obtener altos rendimientos para el área de trabajo. Las unidades de suelos en forma general se comportan con altos índices de micronutrientos disponibles, los Vertisoles con el valor más alto en hierro 134.58 kg./ha y manganeso 83.61 kg./ha, los Leptosoles en zinc 9.55 kg./ha y cobre 13.77 kg./ha estos últimos con los rendimientos menores de 2,000 Kg./ha, de forma inversa los Andosoles tiene los valores más bajos en hierro 28.43 kg./ha, zinc 1.584 kg./ha, manganeso 21.08 kg./ha y cobre 1.581 kg./ha en este tipo de suelo se obtienen los rendimientos mayores de la zona 4164.0 Kg./ha, nos da un parámetro importante ya que se considera que las cantidades de micronutrientos no afecta en los rendimientos de maíz.

En tejido vegetal los Acrisoles tienen las concentraciones más altas en hierro con 1.08 kg./ha y zinc con 0.393 Kg./ha en este tipo de suelo se presentan los valores de acidez más bajos esto indica que el hierro interviene en la disponibilidad y solubilidad en el suelo; los Feozems el manganeso con 0.466 kg./ha y Leptosol en cobre con 13.77 kg./ha, el manganeso es un elemento que solo se presenta en concentraciones altas en suelo cuando las condiciones de acidez son severas, para evitar sus problemas primarios y secundarios, hay que limitar su toxicidad y que esto pueda repercutir en los rendimientos de los cultivos, se debe de monitoriar tanto la acidez como la concentración de este elemento; los Leptosoles son suelos no muy aptos para la agricultura y estos tienen una baja disponibilidad de micronutrientos en especial el hierro 0.526 Kg./ha, zinc 0.079 kg./ha y cobre 0.02 kg./ha, los Andosoles y Vertisoles con la menor concentración, en manganeso con 0.21 kg./ha para ambos, se recomienda mantener los niveles apropiados de micronutrientos para maíz y no convertirse en una limitante en la obtención de altos rendimientos, se sugiere hacer investigaciones de micronutrientos para aumentar gradualmente la disponibilidad de cobre y zinc y limitar la toxicidad de hierro y manganeso dada por la acidez de los suelos.

Cuadro 39. Extracción en kilogramos de nutrimento por maíz en la época de floración femenina (jilote) y disponible del suelo para el cultivo de maíz para cada uno de los municipios de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres, Estado de México.

MUNICIPIO	NITRÓGENO Kg		FÓSFORO Kg		POTASIO Kg		CALCIO Kg		MAGNESIO Kg	
	Suelo	Planta	Suelo	Planta	Suelo	Planta	Suelo	planta	Suelo	Planta
VILLA VICTORIA	58.52	102.5	46.9	10.5	667	80.4	2297	11.3	772.7	5.75
VILLA DE ALLENDE	53.48	95.53	17.4	10.2	483	86.7	1781.	12.0	485.7	6.96
DONATO GUERRA	43.48	109.4	28.4	11.5	835	91.5	2909.	14.9	789.5	8.66
AMANALCO	44.98	75.17	21.6	10.1	580	75.9	2064.	9.99	567.1	4.97
VALLE DE BRAVO	63.50	74.19	16.9	8.13	1205	66.6	5419.	8.61	1650.0	5.91
PROMEDIO	52.79	91.37	26.3	10.1	753	80.2	2894	12.9	853.0	6.45.
MICROELEMENTOS										
	FIERRO Kg		ZINC Kg		MANGANESO Kg		COBRE Kg		REND. Kg./Ha	
	Suelo	Planta	Suelo	Planta	Suelo	Planta	Suelo	Planta		
VILLA VICTORIA	117.0	1.00	5.40	0.411	79.3	0.385	3.21	0.055	3,939.0	
VILLA DE ALLENDE	36.6	1.15	2.40	0.418	19.0	0.191	1.11	0.062	4,301.1	
DONATO GUERRA	66.84	1.29	3.67	0.221	45.5	0.207	2.47	0.076	4,550.1	
AMANALCO	58.49	0.70	2.95	0.242	28.2	0.220	1.36	0.057	3,641.1	
VALLE DE BRAVO	120.2	0.77	18.1	0.187	72.8	0.125	6.49	0.052	3,476.5	
PROMEDIO	79.84	0.98	6.50	0.294	48.9	0.225	2.92	0.060	3981.5	

Los Andosoles, en forma general, son suelos medianamente aptos para la agricultura cuando a éstos se les practica labores más adecuadas como aplicación racional y espaciada de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, mejoradores químicos, aplicaciones de algunos estiércoles (limo), actividades de labranza y en especial la eliminación de las malas hierbas de este modo así se evita la competencia con los cultivos y aprovechar a lo máximo las actividades antes mencionados. En el Municipio de Donato Guerra tiene los rendimientos más altos en estos suelos con 4,550 kg./ha y en la zona, otro aspecto de suma importancia es la introducción de semillas mejoradas que realiza SEDAGRO, ha obtenido resultados adecuados las variedades Ixtlahuaca, HIT 1, Santiago, Yече y

ICAMEX 10 debido a que se ha adaptado a las condiciones edafológicas de los Andosoles, son maíces con mayor eficiencia a las deficiencias nutrimentales que presentan los suelos principalmente en nitrógeno, calcio, magnesio y fósforo; no solo para maíz sino para otros cultivos practicados en la zona, se cuenta con un potencial importante para la explotación de la agricultura con rendimientos actuales de 4,164.0 kg./ha, alcanzar con un potencial de hasta 6000 kg./ha de maíz.

Cuadro 40. Extracción en Kg de nutrimento por maíz en la época de floración femenina (jilote) y disponible del suelo para el cultivo de maíz para cada una de las unidades de suelo de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres, Estado de México.

MUNICIPIO	NITRÓGENO Kg		FÓSFORO Kg		POTASIO Kg		CALCIO Kg		MAGNESIO Kg	
	Suelo	Planta	Suelo	Planta	Suelo	Planta	Suelo	planta	Suelo	Planta
ANDISOL	48.21	97.97	20.2	10.5	842.	84.1	2040.	11.8	655.1	6.51
ACRISOL	71.07	86.69	40.6	9.28	340	74.1	3455	10.2	1229	4.80
FEOZEM	49.05	93.21	58.2	9.49	270	74.2	1834	10.4	804.2	6.11
VERTISOL	73.38	86.65	48.9	9.52	606	73.6	6065	9.48	1213	7.71
LITOSOL	63.52	37.0	2.25	4.5	615	23.9	2013	5.50	1248	2.16
PROMEDIO	61.04	80.3	34.0	8.65	534	66.0	3081	9.46	1029	5.45
MICROELEMENTOS										
	FIERRO Kg		ZINC Kg		MANGANESO Kg		COBRE Kg		REND. Kg./Ha	
	Suelo	Planta	Suelo	Planta	Suelo	Planta	Suelo	Planta		
ANDISOL	28.43	1.04	1.58	0.358	21.08	0.21	1.58	0.064	4,164.0	
ACRISOL	41.81	1.08	4.72	0.393	77.75	0.40	4.12	0.05	3,641.1	
FEOZEM	94.60	0.958	5.81	0.139	57.67	0.466	7.95	0.050	3,641.1	
VERTISOL	134.6	0.804	7.32	0.237	83.61	0.211	8.19	0.052	3,939.0	
LITOSOL	57.35	0.526	9.55	0.079	65.72	0.256	13.8	0.02	2,000.0	
PROMEDIO	71.37	0.881	5.79	0.201	33.47	0.308	7.12	0.04	3,477.0	

Las otras unidades de suelo como Feozems y Vertisoles presentan problemas que actualmente de una sobre explotación de la agricultura obteniendo unos rendimientos de 3,500-4,000 kg./ha; el pH interviene de manera relevante en las propiedades químicas y biológicas, a los Acrisoles se debe de dar mismo tratamiento que los Andosoles debido al mismo comportamiento químico dado por la íntima relación que guarda con los suelos de Ando. Los Leptosoles, con un porcentaje mínimo de área representativa tiene características químicas inadecuada debido a las deficiencias nutrimentales que presenta, que afectan a la planta.

CORRELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELO Y NUTRIMENTOS ANALIZADOS EN MAÍZ.

En el cuadro 41 se presenta correlaciones de las propiedades químicas de suelo, entre las que destaca es la del aluminio que se relaciona con pH (H₂O)(-0.31223) y en (CaCl₂) (-0.30398) esto indica que al subir la cantidad de aluminio soluble en el suelo el pH tiende a disminuir, con la capacidad de intercambio catiónico total, magnesio (-0.45341) y calcio (-0.5123) son características que tiene un antagonismo recíproco, el aumento de aluminio en el suelo y en el complejo de cambio provoca una disminución de cationes básicos dando como resultado una disminución y por lo tanto, un lavado de estas bases de la solución del suelo que provoca una deficiencia de estas para las cultivos en los suelos destinados para maíz (Urquiaga y Boddey, 1996).

El fósforo es un elemento con una dinámica particular en suelos ácidos y en especial en los derivados de cenizas volcánicas, presentan un alto contenido de aluminio en la solución del suelo, lo que provoca una alta retención del mismo, que se demuestra con una alta correlación entre ambas (0.77812) que es la más significativa y que tiene respuestas indirectas sobre los rendimientos de los cultivos; así como en la disponibilidad de algunos micronutrientes como en zinc (-0.54321), manganeso (-0.53421), cobre (-0.5364) y hierro (-0.57053) aunque estos no presenten problemas de disponibilidad, los valores presentados dan hincapié a realizar otras investigaciones en estos suelos dado el comportamiento del aluminio en solución con la relación de microelementos (Shoji, 1995).

La acidez hidrolítica tiene una relación íntima con el aluminio ya que ambos presentan una correlación alta (0.47807) de igual manera se comporta con otros elementos en el suelo como calcio (-0.44045), magnesio (-0.44045), y la propiedad química de los suelos ácidos en la retención de fósforo (-0.65682), en pH H₂O (-0.58479) y pOH CaCl₂ (-0.59594). Las relaciones entre pH con las bases del suelo en especial como calcio (0.52123) y magnesio (0.51236) sus valores indica que si aumenta el calcio y magnesio en el suelo aumentara el pH, que trae como consecuencia una disponibilidad de estos para las plantas, los índices de ambos se comporta de acuerdo como indique la dirección de la reacción del suelo.

La correlación entre la materia orgánica con el nitrógeno es de (0.3832) no muy significativa; pero se considera por su íntima relación que existe entre ambas es la siguiente, al aumentar la materia orgánica incrementa el nitrógeno total del suelo en compuestos difícil de mineralizar, a estos los hace ser menos disponible para las plantas; por lo tanto, otro aspecto importante es el comportamiento de la relación carbono-nitrógeno lo que implica una disminución del nitrógeno en la reserva de materia orgánica, ya que cuando sea mineralizada habrá poco nitrógeno disponible y éste tendrá que ser suplementario con fertilizantes nitrogenados principalmente los sulfato de amonio y

urea (Cruz *et al.*, 1988). La CICT una propiedad importante en la fertilidad de los suelos y se relaciona con macroelementos como manganeso (-0.310019), zinc (-0.25825) y hierro (-0.30713).

Cuadro 41- Correlaciones de las características químicas de suelo.

	pH H	pH Ca	M.O.	N	CICT	Mg	Ca	RetF	Al	Zn	Mn	Cu
pH Ca	0.80341 0.0001	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N Suelo	NS	NS	0.38322 0.0001	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Mg Suelo	0.51236 0.0001	0.42844 0.0001	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Ca Suelo	0.52053 0.0001	0.51539 0.0001	NS	NS	NS	0.45159 0.0001	NS	NS	NS	NS	NS	NS
RetF	NS	NS	NS	NS	0.40924 0.0001	0.33528 0.0001	-0.38339 0.0001	NS	NS	NS	NS	NS
Al Suelo	-0.31223 0.0001	-0.30398 0.0002	NS	NS	0.28797 0.0005	- 0.42049 0.0001	-0.5123 0.0001	0.77812 0.0001	NS	NS	NS	NS
AcH	-0.58479 0.0001	-0.59594 0.0001	NS	NS	NS	- 0.45341 0.0001	-0.44045 0.0001	0.37387 0.0001	0.47807 0.0001	NS	NS	NS
C.E.	NS	NS	NS	- 0.28773 0.0005	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Zn Suelo	NS	NS	NS	NS	-0.25825 0.0018	0.28714 0.0005	0.42419 0.0001	- 0.65682 0.0001	- 0.54321 0.0001	NS	NS	NS
Mn Suelo	NS	NS	NS	NS	-0.31394 0.0001	NS	NS	- 0.55858 0.0001	-0.4177 0.0001	0.39896 0.0001	NS	NS
Cu Suelo	NS	NS	NS	NS	-0.30019 0.0003	NS	0.31122 0.0002	- 0.64922 0.0001	- 0.53640 0.0001	0.75591 0.0001	0.19140 0.0001	NS
Fe Suelo	NS	NS	NS	NS	-0.30713 0.0002	NS	NS	- 0.57053 0.0001	- 0.52214 0.0001	NS	0.53673 0.0001	0.38280 0.0001
C/N	NS	NS	NS	- 0.39276 0.0001	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS* NO SIGNIFICATIVO

La correlación de mayor importancia en la planta de maíz es la de nitrógeno con fósforo (44142) (Cuadro 42) ya que son los elementos esenciales aplicados en productos químicos que debe de aprovecharse al máximo elaborando un plan de fertilización que su adecuado aplicación incrementará los rendimientos de maíz, provocando al sinérgismo en la asimilación de la planta de maíz y no sea afectado por el incremento de un fertilizante principalmente nitrogenado que afecte a la disponibilidad de fósforo, además de adecuarse con las características edafológicas de la zona. El manganeso es un microelemento esencial que se correlaciona con nitrógeno (0.31485) y hierro (0.2861) sin ser números muy significativos pero debe de darle seguimiento a esta relación si en estos suelos siguen disminuyendo en su reacción, un antagonismo se puede presentar es el de manganeso con zinc y puede alcanzar valores significativos si se realiza encalados con la presencia de magnesio.

Cuadro 42- Correlaciones de los elementos analizados en tejido de maíz.

	N TV.	F TV.	K TV.	Ca TV.	Mg TV.	Cu TV.	Zn TV.	Fe TV.	Mn TV.
N TV.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F TV.	0.44142 0.0001	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
K TV.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Ca TV.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Mg TV.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cu TV.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Zn TV.	NS	NS	NS	NS	-0.22818 0.0088	NS	NS	NS	NS
Fe TV.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Mn TV.	0.31485 0.0002	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.2861 0.0009	NS

NS* NO SIGNIFICATIVO; T V. TEJIDO VEGETAL.

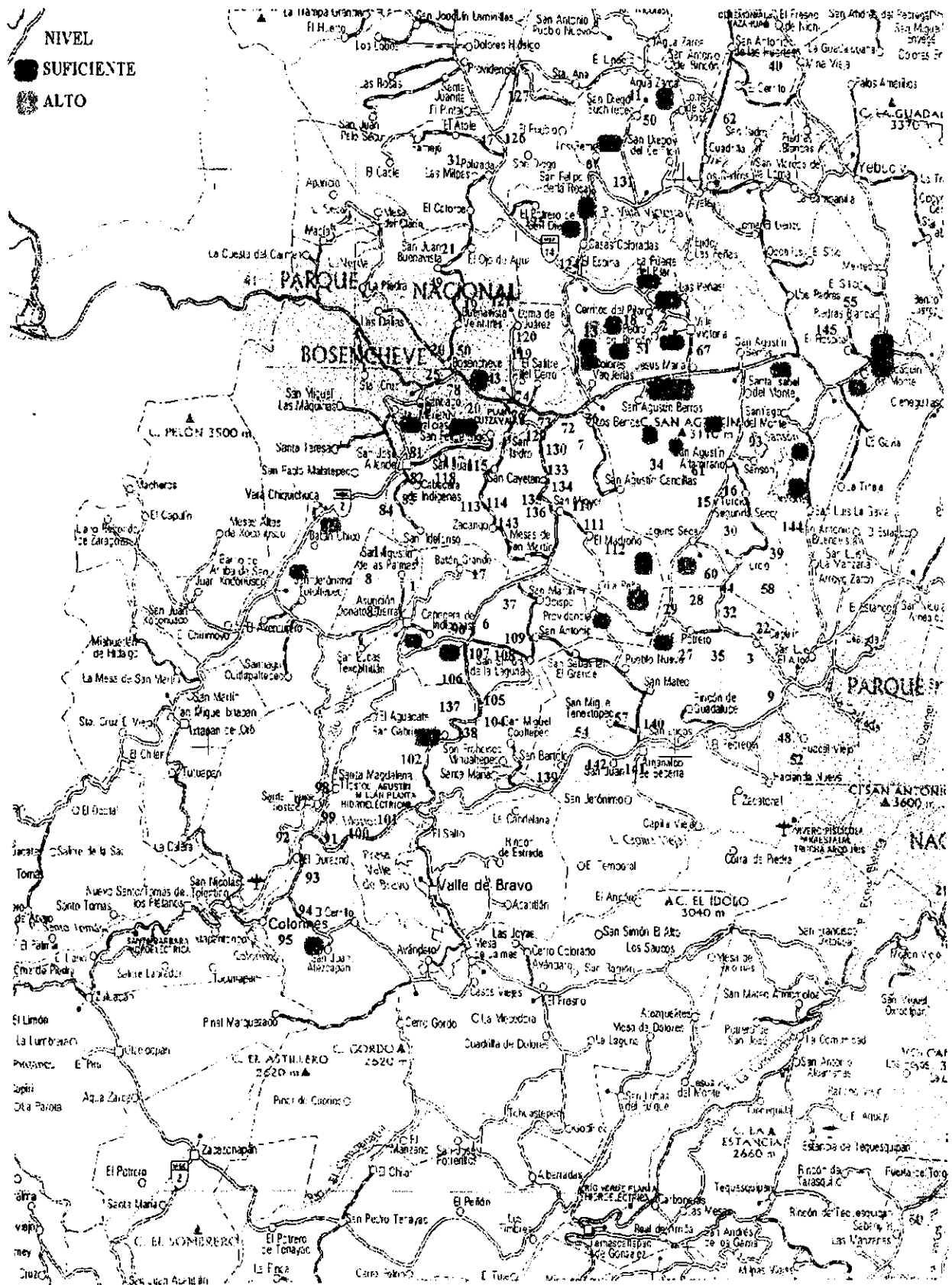
En el cuadro (43) demuestra la respuesta de la planta en su adaptación y crecimiento a las condiciones edafológicas donde estas se desarrollan, entre ellas es la absorción de los elementos que necesita para su complementar su ciclo de vida entre los que destaca la asimilación de los iones que contiene nitrógeno como los nitratos y amonio y su acumulación en maíz, con una correlación de (-0.32434) a pH H_2O (-0.32464) y pH $CaCl_2$ (-0.31057) indica que el pH tiene una intervención importante en la asimilación de nitrógeno del suelo, nos muestra como la planta responde fisiológicamente y anatómicamente a las condiciones ácidas del suelo (Marsnher, 1995), también la acidez hace que el manganeso sea un elemento con alta presencia en suelo y su íntima relación con hierro (0.42009), la relación carbono-nitrógeno (0.67338) hace tener un cuidado con este microelemento para evitar toxicidad a futuro y antagonismos con otros elementos.

Cuadro 43- Correlaciones más significativas entre nutrientes analizados en maíz y propiedades químicas de suelo.

	Fe (Suelo)	C/N	pH H_2O	pH $CaCl_2$
NTV	NS	NS	-0.32434 0.0003	-0.31057 0.0005
MnTV	0.42009 0.0001	0.67338 0.0001	-0.36809 0.0001	-0.43865 0.0001
FTV	NS	NS	NS	NS
MgTV	NS	NS	NS	NS

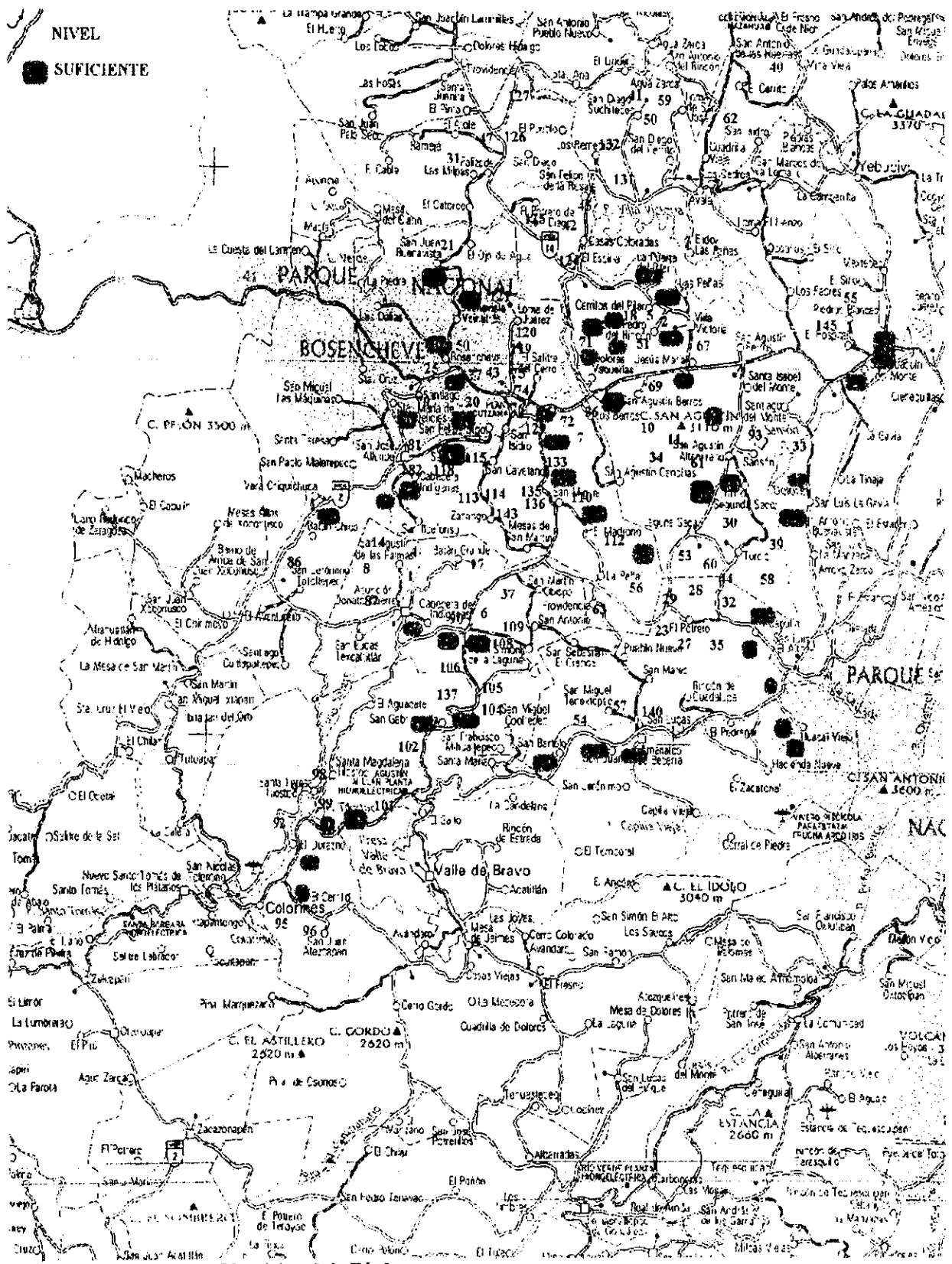
NS* NO SIGNIFICATIVO; TV. TEJIDO VEGETAL

Los siguientes mapas son el resultado del estudio cartográfico y de zonificación de los diferentes nutrimentos analizados en tejido vegetal (hoja opuesta anterior en la etapa de "jiloteo" nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, hierro, manganeso y cobre), realizando de esta manera el levantamiento nutricional en maíz en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México.



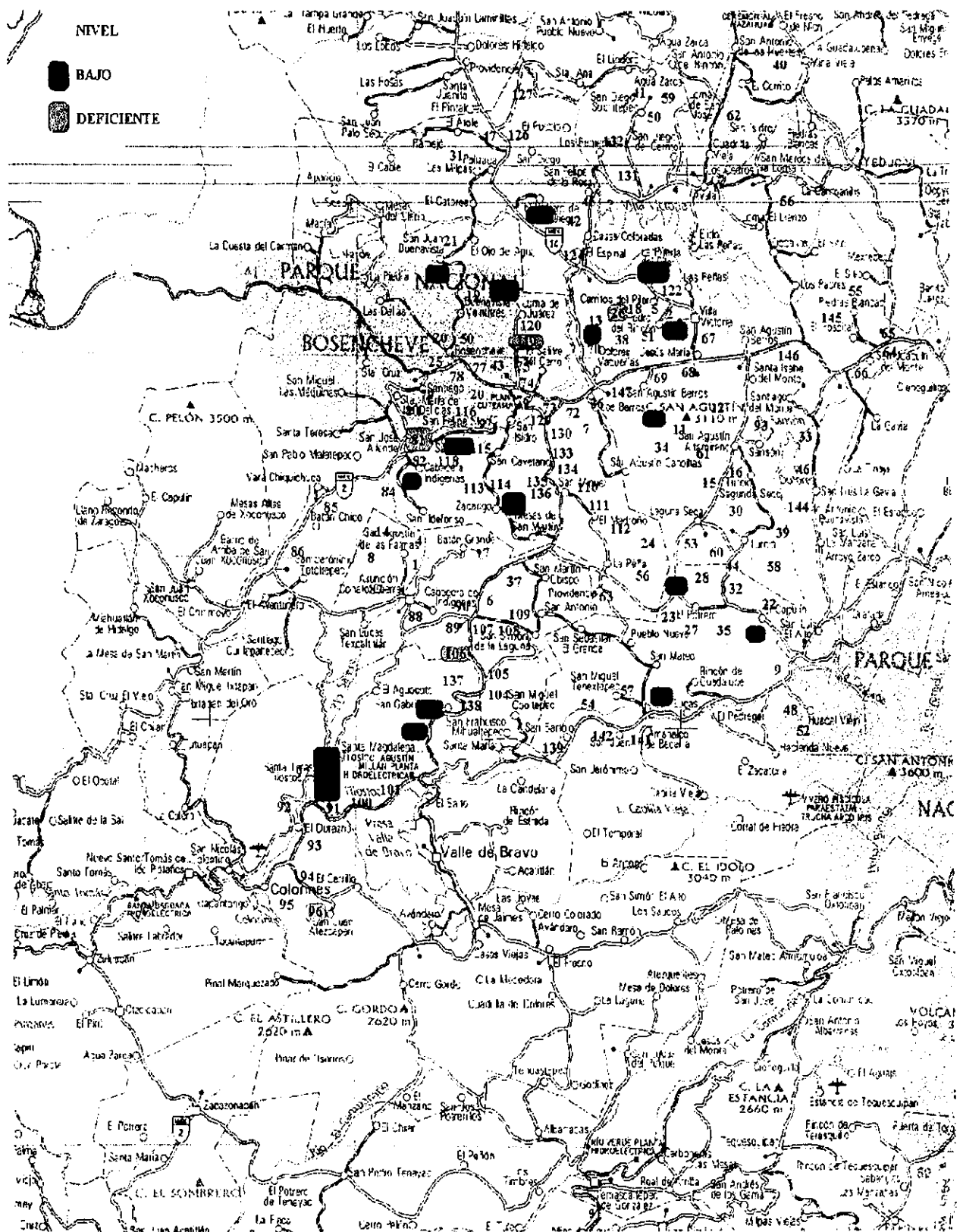
Mapa 2. Levantamiento Nutricional de Nitrógeno.

*Los muestreos sin colorear se ubican en los niveles Deficiente y Bajo.



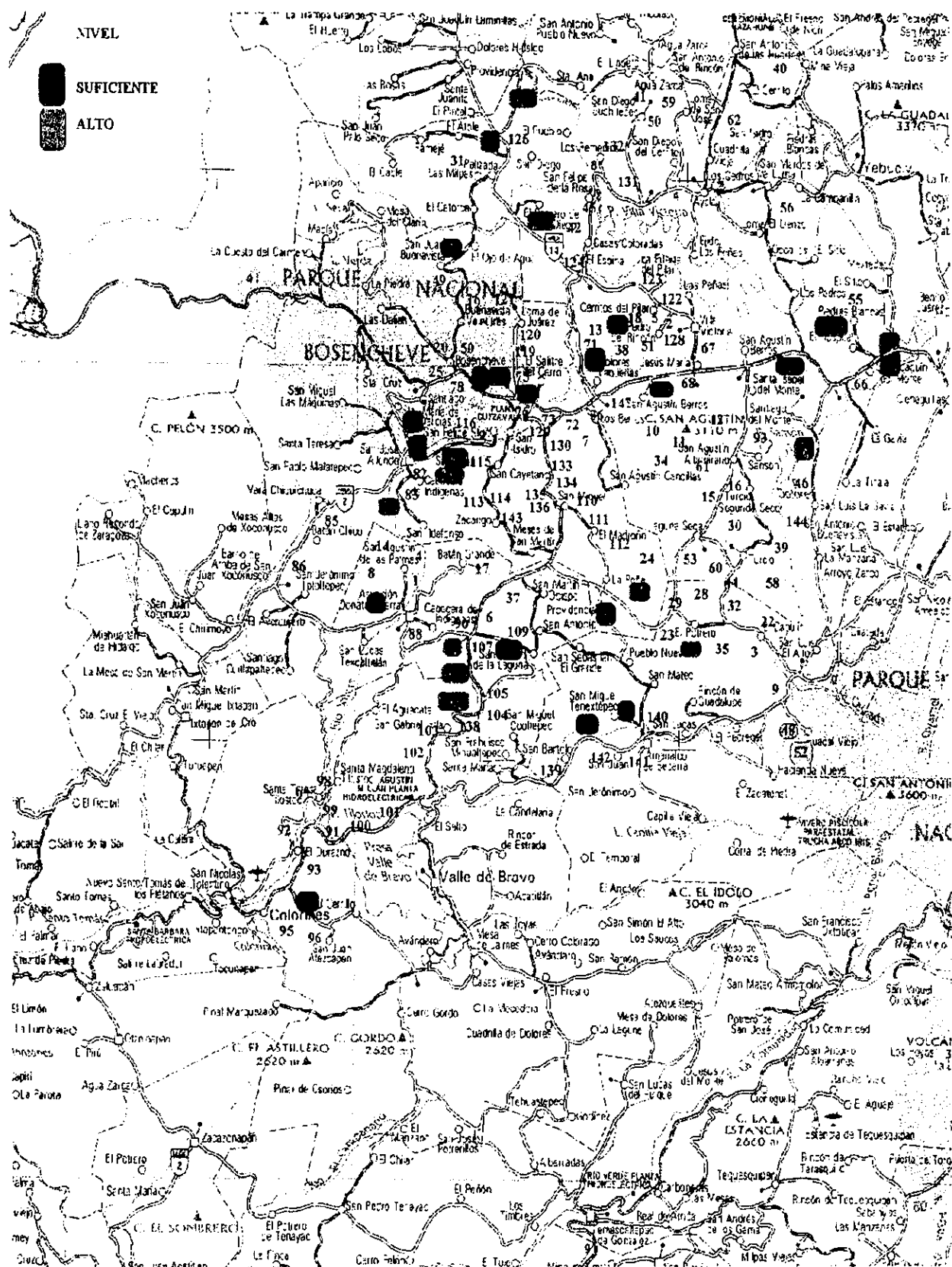
Mapa 3. Levantamiento Nutricional de Fósforo

*Los muestreos sin colorear se ubican en los niveles Deficiente y Bajo.



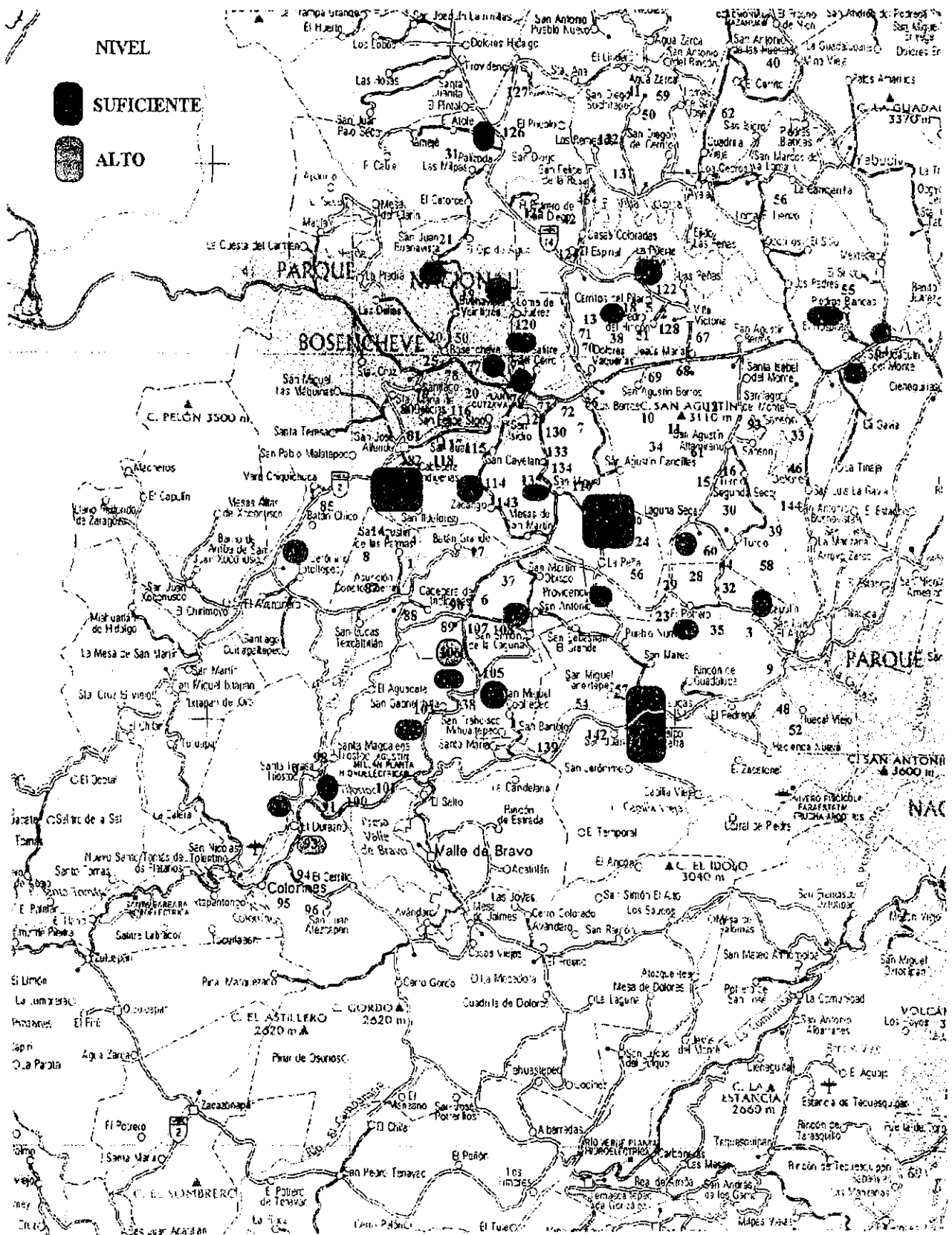
Mapa 4. Levantamiento Nutricional de Potasio.

*Los muestreos sin colorear se ubican en los niveles Suficiente y Tóxico.



Mapa 5. Levantamiento Nutricional de Calcio.

Los muestreos sin colorear se ubican en los niveles Deficiente, Bajo.

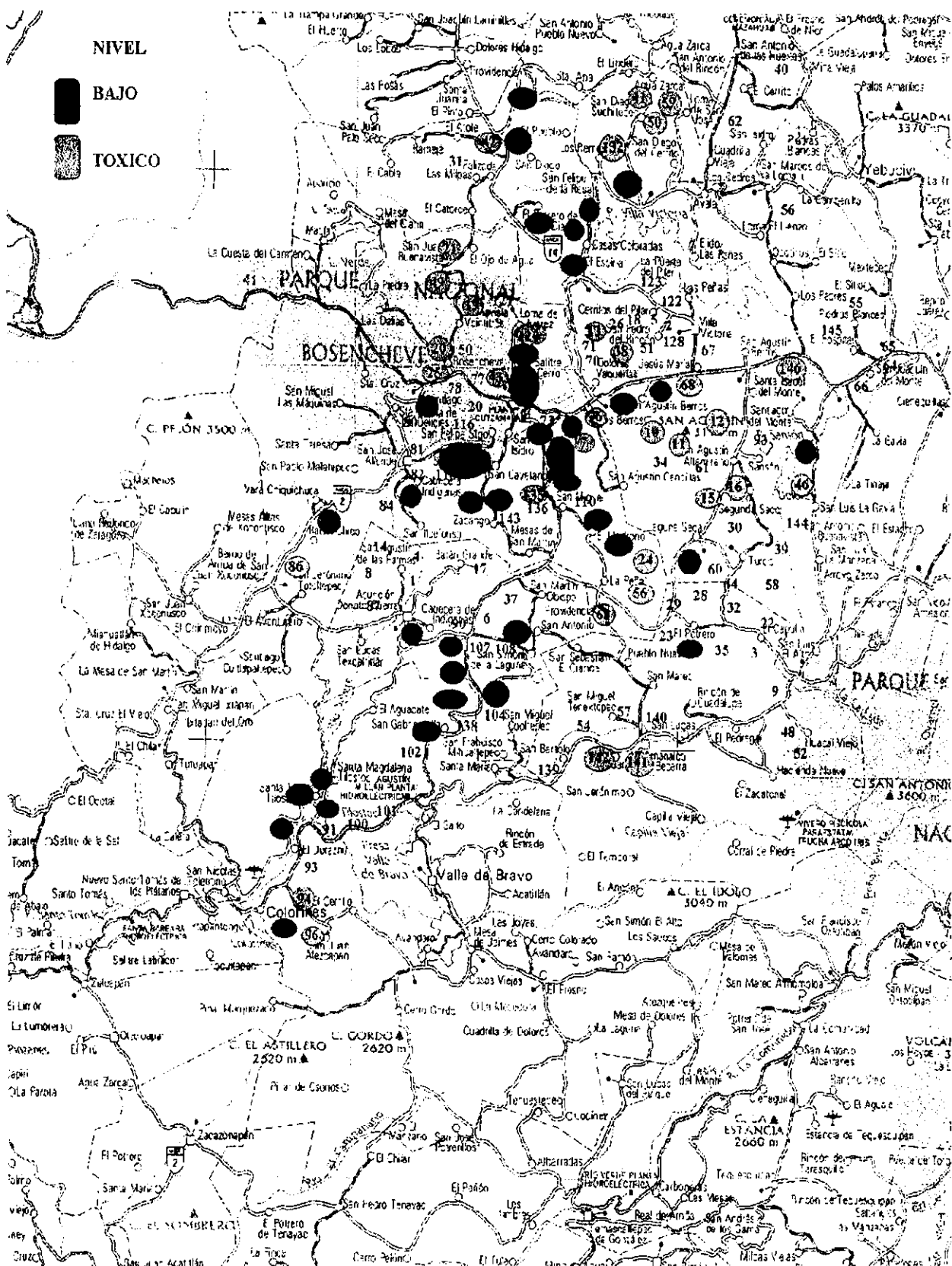


Mapa 6. Levantamiento Nutricional de Magnesio

*Los muestreos sin colorear se ubican en los niveles Deficiente y Bajo.



Mapa 7. Levantamiento Nutricional de Cobre. * Los muestreos sin colorear se ubican en los niveles Deficiente Suficiente y Alto.



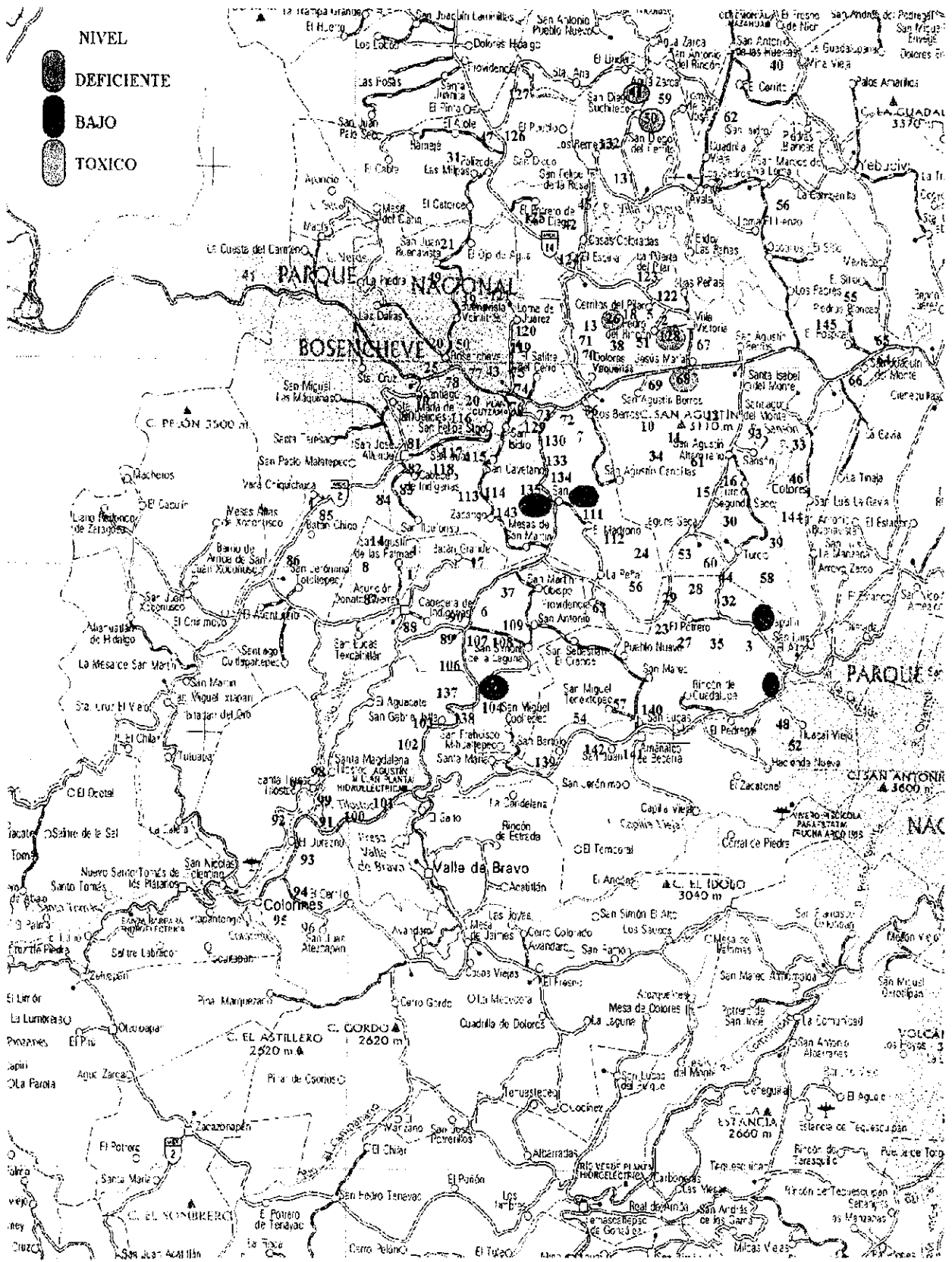
Mapa 8. Levantamiento Nutricional de Zinc.

*Los muestreos sin colorear se ubican en los niveles Deficiente, Suficiente y Alto



Mapa 9. Levantamiento Nutricional de Hierro.

*Los muestreos sin colorear se ubican en los niveles Suficiente y Alto



Mapa 10. Levantamiento Nutricional de Manganeso.

* Los muestreos sin colorear se ubican en los niveles Suficiente y Alto

CONCLUSIONES

Los suelos de la zona de estudio presentan características químicas, como pH ácidos, altos contenidos de aluminio extractable, altos contenidos de materia orgánica, alta retención de fósforo >60 %, baja disponibilidad de fósforo, alta capacidad de intercambio catiónico total, estas características se relacionan con materiales amorfos (alófano, imogolita etc.), lo que propicia condiciones ándicas, que son responsables del estado de fertilidad de estos suelos y esto hace que la aplicación de fertilizantes fosfatados no sean aprovechados por los cultivos. La disponibilidad de abastecimiento de los microelementos (Fe, Cu, Zn y Mn) del suelo en el área no presentan problemas de disponibilidad ni de toxicidad en suelo, por lo tanto, no se tiene la necesidad de adicionarse en fertilizantes. Las correlaciones indican que el aluminio es una de las causas edafológicas que intervienen directa e indirectamente en condiciones de acidez, CICT, acidez hidrolítica en algunos microelementos como cobre, hierro, zinc y manganeso.

El estado de fertilidad de los Andosoles presentes en el área de estudio se considera medianamente productivos, dadas las condiciones químicas como: pH ácido, baja disponibilidad de calcio, magnesio y nitrógeno, alta retención de fósforo, baja disponibilidad de este, sin embargo, ésta unidad de suelo registra los rendimientos más altos, en promedio 4.0 tn/ha; los Vertisoles y Feozem que son considerados como suelos altamente productivos; en la Subprovincia de Mil Cumbres, debido al manejo inadecuado y uso exagerado de fertilizantes (causa una severa acidificación), no son los más productivos para maíz.

El bajo porcentaje de saturación de bases debido al material parental, génesis y la tecnología aplicada en la producción agrícola, lo que hace necesario la aplicación de encalados en dosis moderadas de 0.5 a 2.0 tn /ha.

Por el método de comparación de estándares de análisis foliar se visualizaron fuertes deficiencias en nitrógeno, calcio, magnesio y fósforo, El potasio no presenta deficiencias en el área estudiada debido a las condiciones edafológicas presentes. La deficiencia de algunos nutrimentos como nitrógeno, calcio y magnesio en suelo, originan consecuencia en los balances nutrimentales desfavorables que influyen marcadamente en los bajos rendimientos de maíz en el área de estudio.

Los Andosoles son los más productivos debido a que sus relaciones nutrimentales, están más cerca de los valores obtenidos en el nivel crítico y también a los estándares nutrimentales establecidos, los Litosoles presentan problemas en los siguientes balances nutricionales N/P, N/K, N/Ca, K/P, K/Mg, P/Mg, Ca/P, y Fe/Mn, se le atribuyen los más bajos de la zona, una limitante en los Vertisoles es el calcio y sus diversos antagonismos con otros cationes; se recomienda adicionar materiales que contengan los macronutrimentos Ca y Mg, para que respondan favorablemente a las relaciones nutricionales entre Ca/P y N/Ca. En casi todas las relaciones hay que considerar que los valores no están muy dispares con la teórica, sin embargo lo que influye son las deficiencias en los nutrimentos. Los rendimientos de la zona son influenciados por diferentes balances nutrimentales; en el municipio de Villa Victoria los suelos predominantes son: Vertisoles, Feozems y Andosoles las relaciones que intervienen en que este municipio son N/Ca y N/Mg.

Los micronutrientes acumulados en tejido vegetal se consideran en niveles de suficiente-alto, no hay toxicidad de los mismos.

El DOP una metodología que nos señala de manera progresiva el orden de requerimiento por cada nutriente, se obtuvo el orden decreciente de los macronutrientes $Mg > N = P =$ y $Ca > K$, para la zona; sin embargo, esta técnica no permitió diagnosticar a los micronutrientes debido a su metodología, en especial a los que presentan niveles de suficiencia y alto, por lo que no se recomienda cuando hay que relacionar con nutrientes con baja disponibilidad del suelo y que presentas considerables deficiencias nutricionales.

Con el levantamiento nutricional se detectaron áreas con diferentes suministro anormal de nutrientes, con los mapas de abastecimiento de nutrientes, se diagnosticó el estado nutricional del cultivo de maíz y los rendimientos 2.0 a 5.0 ton/ha que se consideran bajos.

CONSIDERACIONES FINALES

ALTERNATIVAS DE MANEJO

El estiércol de animal es de bajo costo y puede ser una alternativa para ser más eficiente la fertilización mineral de muchas granjas en la zona de estudio, la combinación, provee de fuentes variables principalmente de nitrógeno y fósforo para la producción de grano y forraje [(Huhnke, 1982 citado por Masakasu, 1993)]. Esto puede incrementar el potencial de producción y asimilación de $\text{NO}_3\text{-N}$, también para remediar las deficiencias de fósforo en suelos ácidos que predominan en el uso agrícola. La evaluación de efectos del estiércol junto con otras formas orgánicas (composta) e inorgánicas (fertilizantes) en el suelo se considera como fuente potencial para la asimilación de nutrientes por las plantas cultivadas. Se tiene que evaluar las aplicaciones de estiércol en el incremento del nitrógeno total, estadísticamente, la aplicación de estiércol incrementa el nitrógeno y fósforo en diversas proporciones, depende de la calidad de estiércol en las fracciones disponibles de fósforo. Se debe realizar investigación con la aplicación de estiércol y otras combinaciones de fertilizantes utilizados por los campesinos.

La aplicación de fósforo en forma de roca fosfórica se han realizado en la demostración en cultivo de soja utilizando dos fuentes más de fósforo, uno de ellos, roca fosfórica acidulada y superfosfato simple solo y combinado, se analizó el fósforo soluble por los métodos Bray P-1 y Bray 2, con superfosfato que con la roca fosfórica se dio un incremento en los rendimientos, pero fue más eficiente la combinación de los dos en rendimiento de grano (Choudhary *et al.*, 1996).

Las características generales que se describen a continuación, la densidad aparente de cada una de las unidades de suelo son: Andisoles 0.85 gr/cm^3 , Acrisoles 1.25 gr/cm^3 , Feozem 1.20 gr/cm^3 , Vertisol 1.50 gr/cm^3 y Litosol 1.25 gr/cm^3 .

Existen, cinco órdenes de suelo: Andosoles, Acrisoles, Feozem, Litosoles y Vertisol; sin embargo, los dos primeros representan casi el 95 % de la superficie cultivable, así los resultados nos permiten establecer los requerimientos de encalado principalmente para estos suelos. Para establecer los requerimientos de cal, se consideró el pH del suelo y su acidez hidrolítica (cuadro 44), valor neutralizante de la cal agrícola que SEDAGRO proporciona a los productores y finalmente el valor de densidad aparente de los órdenes de suelo, presentes en la zona entre los que dominan los Andisoles y Acrisoles (ambos de reacción ácida), se calculó la dosis de cal para una hectárea.

El menor valor de pH, en todos los sitios estudiados, lo tiene en el municipio de Villa Victoria se tiene la mayor acidez hidrolítica y que existe concordancia entre los mayores valores de acidez hidrolítica encontrados con los resultados de requerimientos de cal determinados como se puede apreciar en Cuadro 43.

Cuadro 44 Valores máximos, mínimos y promedio de pH y acidez hidrolítica de los municipios de la zona de estudio.

Municipio	pH 1:2.5 H ₂ O			ACIDEZ HIDROLITICA cmol (H ⁺)/Kg.		
	mínimo	máximo	media	mínimo	máximo	media
A. B.	4.6	6.3	5.5	0.52	1.78	1.03
D. G.	5.2	6.6	5.9	0.52	1.46	0.87
V. A.	4.6	6.4	5.4	0.41	1.88	1.08
V. B.	5.3	6.6	6.0	0.31	1.25	0.6
V. V.	3.9	6.6	5.1	0.41	2.09	1.14

A. B.= Amanalco de Becerra, D. G.= Donato Guerra, V. A.= Villa de Allende, V. B.= Valle de Bravo, V. V.= Villa Victoria.

Se realizó un análisis de correlación por municipio entre valores de potencial de hidrógeno, acidez hidrolítica y necesidades de cal. También se presenta la ecuación de regresión de esta variable para cada zona (tabla 46).

Cuadro 45 Requerimientos de cal agrícola determinados mediante el método de acidez hidrolítica en los municipios que comprenden la zona de estudio.

MUNICIPIO	NECESIDADES DE CAL (Kg. /ha)		
	mínimo	máximo	media
A. B.	446.0	1517	875.4
D. G.	446.0	1249	762.5
V. A.	356.8	1764	954.3
V. B.	331.1	1700	837.0
V. V.	356.8	2519	1153.0

A. B.= Amanalco de Becerra, D. G.= Donato Guerra, V. A.= Villa de Allende, V. B.= Valle de Bravo y V. V.= Villa Victoria.

Cuadro 46 Coeficientes de correlación y ecuación de regresión por municipio en la zona de estudio.

Correlación Acid. Hidrol. vs Nec. de Cal.		r ²	Ecuación de regresión $y = a + b(x_0) + c(x_1)$
A. B.	0.99 **	0.99 **	$y = 860.6 (x_1)$
D. G.	0.96 **	0.93 **	$y = 834.69(x_1)$
V. A.	0.93 **	0.87 **	$y = 509.84 - 82.87(x_0) + 826.11(x_1)$
V. B.	0.65 n.s.	0.43 n.s.	
V. V.	0.84 **	0.79 **	$y = 1447.8 - 241(x_0) + 834.0 (x_1)$

** , significativo al nivel 0.0001, x_0 = medición de pH, x_1 = medición de acidez hidrolítica (AH).

A. B.= Amanalco de Becerra, D. G.= Donato Guerra, V. A.= Villa de Allende, V. B.= Valle de Bravo y V. V.= Villa Victoria.

La ecuación de regresión encontrada para los municipios de Villa de Allende y Villa Victoria, muestran alta significancia para las dos variables de estudio respecto a los requerimientos de encalado, lo que no se tiene para los otros municipios.

Los requerimientos de cal encontrados por el método de Kaurichev (1985) para los suelos de la región Fisiográfica de "Mil Cumbres", oscilan entre 900 y 1200 kg./ha en promedio, aunque para algunos sitios en particular pueden ser hasta 2500 en dosis extremas altas y 300 a 500 kg./ha como formas de atenuar la acidez edáfica. Con éste método de determinación de dosis de encalado para los suelos se evita caer en el peligro de sobrencalado y los riesgos que derivan de él. Se ha utilizado este método en la determinación de dosis de encalado para trabajos experimentales con el cultivo de maíz y triticale en los que con encalado de 950 kg./ha se tiene hasta un 30 % de aumento de rendimiento en el primer año en triticale y hasta 25 % en maíz se debe de. Se debe de realizar un monitoreo periódico de pH y acidez hidrolítica para saber cada cuando debe hacerse la aplicación de cal, después del período de incubación de los suelos con el pH original, ocurre incrementos variables del Ca disponible con los tratamientos con roca fosfórica. Estos incrementos fueron mayores en suelos tratados previamente con $\text{Ca}(\text{OH})^2$ según (López y Martínez, 1994; Cruz y Hernández, 1996).

LITERATURA CITADA

- Adams, 1980. The role of phosphorus in Agriculture ASA-CSSA-ISSA, South Segoe Road, Madison Alabama, USA, 657-674 pag.
- Aguirre, M. D. y A. S. Trinidad, 1995. Cambios químicos de un Andisol por porqueraza y encalado en la respuesta de maíz. En XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.
- Aguilar, A. J. L. y M. R. López, 1992. Efecto del encalado sobre el pH, saturación con aluminio y rendimiento de maíz en Andosoles de Noanilco, Veracruz. Terra 10: 75-83.
- Aguilar, S.A., G. G. Alcantar, B. J. D. Etchevers, 1993. Acidez del suelo y encalado en México. Asociación Nacional de Fabricantes de cal, A. C., México D.F. 45 Pag.
- Aguilar, M. D. y A. S. Trinidad, 1995. Cambios químicos de un Andisol por porqueraza y encalado en la respuesta de Maíz. XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. Tamaulipas
- Aguilera, H. N. 1965. Suelos de ando, génesis, morfología y clasificación. Serie de investigación N° 6. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Aguilera, H. N., 1989. Tratado de edafología de México, Tomo I. Facultad de Ciencias. Dirección General de Publicaciones UNAM. México D. F.
- Alvarado, L. J., L. J. Cajuste. 1991. Efecto de encalado en el rendimiento de maíz y algunas propiedades de suelo. Agrociencia. 2, (4) 7-18.
- Alvarado, L. P., H.J. Blas. L. J. Cajuste. 1995. Respuesta de maíz a la aplicación de cal, gallinaza y fósforo. XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. Tamaulipas
- Alvarado, L. J., L. J. Cajuste, 1993. Encalado y retención de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. Turrialba. 43 (4) 235-241.
- Alvarado, L. J., L. J. Cajuste, 1996. Fuente de Encalado y Disponibilidad de Fósforo XXVII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Obregón Son.
- Allan, J. E. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian techtron, Walnut Creek, California.
- Amado, A. J. P. 1989. Levantamiento nutrimental del manzano (*malus domestica*) en la Sierra de Chihuahua, Terra. Vol 7, 2: 116-124.
- Arnon, J. 1975. Nutrition Mineral of Maiz. International Potash Institute Bern/Switzer land
- Ares J. and Wolfgang Z. 1988. Interactions of organic mater and aluminum ions in acid forest soil soluciones. Metal complexation, flocculation, and precipitation. Soil. Sci, Vol 145 6: 437-447.
- Arredondo, V. C. 1996. Aplicación de estiércol bovino como complementa a la fertilización química en maíz. XXVII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Obregón, Son.

- Bäumler, R and Z. Wolfgang. 1994. Characterization of Andisols from noncolcanic, material in Eastern Nepal. *Soil Science*. Sep, Vol 158, No 3 pp 211-217.
- Bates, T.E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and thier evaluation: a review. *Soil Sci*.
- Bautista A. 1997. Determinación del estado nutricional de trigo y de triticales en Andisoles. Reporte de servicio Social. Facultad de Estudios Superiores "Iztacala", UNAM: 46 p.
- Bautista, T. A., and KatsuihiroInave,. 1993. Significance of loess addition in relation to Andic soil properties of volcanic ash soil. *Soil Science Plant Nutrition* 39(3) pp 517-527.
- Beaufils, A. R. 1973. Diagnosis and recomendación integrated system (DRIS). A general scheme for experimentación and calibración based en principles developed from research on plant nutrición. *Soil Sci. Bull.* No 1 University of Natal, Pretermaritzburg. South Africa.
- Beaufils and M. E. Sumner. *Proc. South Afic. Sug Tech. Assoc.*, 50. 118 P.
- Blakemore, L. C., P. L. Searle, G. B, K. Daily. 1977. *Soil Bureau Laboratory metods; methdod of chemical analysi of soils* N. Z. Sol Bureou Sc. Rep.
- Bishop, L., M., Chang, C. A. And Lee, K. W. R. 1994. *Enzimatic Mineralization of Organic Phosphorus in a volcanic soil in Chile*, Abril N 4 Vol 157. *Soil Science* pp 238-243
- Bidwell, R. G. S. 1979. *Fisiología Vegetal* ". Editorial AGT. México D. F.
- Bidbwell, R. G. S. 1979. *Fisiología Vegetal 2*, Editorial. AGT. México D. F.
- Bohn, H. L., B, L. McNeal y G. 'Connor. 1993. *Química de suelos*. Editorial Limusa. México. 370 pp.
- Boul, S. W., F. D. Hole, R. J. Mccracken, 1991. *Génesis y clasificación de suelos*. Ed. Trillas, México. D. F.417 p.
- Bremmer, J. M. 1965. Total nitrogen. In: C.A.Black (ed). *methods of soil analysis. Part 2*, Agronomy 9 American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp 1149-1178.
- Cadahia C., Abad M., Castillo N., López D. 1998. *Fertirrigación, cultivos hortícolas y Ornamentales*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, pp213-245
- Calderon, F. E; R. V Baéz; M. A. Cruz Y. M. A P. Valera. 1996 *Contenidos de Fe Cu Mn y Zn Extractables en Andisoles Umbricos del Estado de Puebla*. XXVII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Obregón Son.
- Carrasco, M- A., A. J. D. Opazo, y Z. C. Benavidez. 1993 *Kinetics of phosporus retention in agriculture soils of alluvial and volcanic origin*. *Agricultura Técnica Chile* 53 (4):331-339.
- Cazares, C. L. R. 1978 *Evaluación del Estado nutricional del los alfalfares del Valle de México*, Tesis de Maestría en Ciencias Colegio de Postgraduados Montecillos México.

- Cervantes, R. G: 1965. Génesis y Clasificación de algunas suelos en la Meseta Tarasca, Estado de Michoacán. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados.
- Chapman, H. D. 1965. Methods of analysis. Part 2. Agronomy 9 American Society of Agronomy Madison , Wisconsin pp 891-901.
- Childs, C. W., R. L. Porfilto and Newman Hir, 1991. Structural studies of silica apring allophane. Clay Miner 25: 329-341.
- Choudhary, M., D. L. Bailey, R. T. Peck., 1996. Effect of rock phosphate and superphosphate on crop yield and soil phosphorus test in long-term fertility plots. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 27(18-20):3085-3099,
- CIMMYT. 1980a Diagnósticos de factores que limitan la productividad de trigo Productividad de Suelos (Primera - Parte).
- CIMMYT. 1980b Diagnósticos de factores que limitan la productividad de trigo Productividad de Suelos (Segunda - Parte).
- Cottenie, A., 1980. Los Análisis de suelo y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. Boletín de Suelos de la FAO, Roma, Italia.
- Courchesene, F., S. Sauoie. and A. Dufresne. 1995. Effects of Air-drying on the measurement of soil pH in acidic forest soils of Quebec, Canada.. *Soils Science Vol 160 No. 1 July pp 56-68.*
- Cruz, F. G., 1997. Relación suelo -nitrógeno - planta. *Apuntes de seminario de investigación. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM: México. Pag. 26.*
- Cruz, H. L. 1988. Determinación de las formas de nitrógeno en suelo derivados de cenizas volcánicas de la Sierra Tarasca, Michoacán, México. *Turrialba 38:105-115.*
- Cruz, H. L. y J. D. B. Etchevers 1990. Establecimiento de usos de fertilización fosfatada para maíz y cebada en suelos de Tlaxcala, mediante un modelo simplificado. Tesis de Maestría; Montecillos México.
- Cruz, H. L. Y Etchevers, B. J. D. 1991. Relación entre los procedimientos olsen-bray-1 de extracción de P evaluados en suelos ácidos de Tlaxcala,. *Terra Vol. 9 2:237-240.*
- Cruz, H. L y J. D B. Etchevers. 1993. Situación de los micronutrientos en suelos agrícolas del Estado de Tlaxcala *Terra, Vol 11 N. 33.*
- Cadahia C., Abad M., Castillo N., López D. 1998. Fertilización, cultivos hortícolas y Ornamentales. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, pp213-245
- Cruz, H. L. Y Etchevers. B. J. D. 1993. Situación de los micronutrientos en suelos agrícolas del estado de Tlaxcala. *Terra, Vol. 11 No 33. pp*
- Dahlgren, A. R.,1994. Quantification of allophane and imogolite. *Soil Science, Society of American, in Soil Mineralogy 430-452*

Debreczeni K. and Y. Sisak 1996. Relationship between the phosphorus balance of hungarian long-term field trials, trend of yields, and soluble phosphorus content of the soils. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 27(5-8):1647-1661.

Dirección General de Culturas Populares, 1987. *El maíz*, tercera edición; García-Valdez. México.

Dirección General de Desarrollo Agropecuario de la secretaria de desarrollo., SEDAGRO. 1996., Estimación de rendimientos del maíz del ciclo agrícola P.V. Colegio de Postgraduados campus Puebla. Estado de México, 58 P.

Dow, A. Y. and S. Roberts. 1982. *Proposal: Critical nutrient ranges for crop diagnosis*. *Agron. Journal*

Dobermann A. Sta and P. C. Cassman., 1996. Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems .1. potassium uptake and k balance. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 46(1):1-10, 1996.

Dobermann, A., K. G Cassman, S. C. P. Cruz, A. M. Adviento, F. M. Pampolino. 1996 .Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems .2. effective soil k-supplying capacity. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 46(1):11-21.

Duchaufour, P. 1976. *Atlas Ecológico de los Suelos del Mundo*. Toray - Masson, S. A. 19-35

Ellert, B. H., G. E. Gregorich. 1996. Storage of carbon, nitrogen and phosphorus in cultivated and adjacent forested soils of ontario. *Soil Science*. 161(9):587-603, Sep.

Etchevers, B. J. D., G. Espinoza., E. Riquelme, 1971. *Manual de fertilidad y fertilizantes*, 2da. Edición, Correda. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillan, Chile.

Etchevers, B. J. D., S. A., Trinidad; M. S., Guerrero; G. A. Pérez; L. D. García; R. G., Morfin. 1985. Levantamiento nutricional del maíz en la Sierra Tarasca de Michoacán, *Agrociencia*, 28 N. 60.

FAO, 1982. *Micronutrients and the nutrient status of soil a global study*. Fao soils Bolletin 48, Finlandia.

Fassbender, H. W. Y E. Bornemiza, 1987. *Química de suelos, con énfasis en suelos de Latino América*. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), San José de Costa Rica.

Fenn, L. B; R. M. Taylor. 1991. Calcium esstimationof ammonium absoption in Plants IN: *Plants Roots and Their Enviromen*. Mc Michael, B. L., H., Person (Eds). Elsevier Science Publishers. B. V. 39-47.

Figueroa. C. J. M; B. F. Martínez; H. J; H. J., González; S. F; Sánchez; M. J., Martínez; T. M. Ruiz 1994. Modernización Tecnológica del Proceso de Nixtamalización. En: *Avance y Perspectiva*. México. 13: 323-329.

Füleky, G.; S. A., Husaain. 1991 Effect of soil CaCO₃ Content on Root Growtrh and Nutrient uptake IN: *Plants Roots and Their Enviromen*. Mc Michael, B. L., H., Person (Eds). Elsevier Science Publishers. B. V. 442-445.

Gallardo, U. M. y A. F. Turrent. 1984. Variaciones en algunas propiedades físicas y químicas en suelos de ando con las aplicaciones de abonos orgánicos e inorgánicos en Patzcuaro Michoacán.

- Gamboa, A. 1980. La fertilización del Maíz. Publicado por el Instituto Internacional de la potasa. Boletín IIP N° 5. Berna, Suiza. 72 pp.
- García, G. A., G. C. Hernández. 1994 Levantamiento nutricional del cultivo de maíz en Andosoles del municipio de Villa de Allende Estado de México, Tesis de licenciatura. FES- Zaragoza. UNAM.
- Goodall, D.W. y F. G. GREGORY. 1974. Composición of plants as an index. of their nutritional status Imp Buareau Hart plant Crops Inglaterra (tech com 179).
- González, E. E. R., 1984. Análisis de la dinámica de producción de materia seca y extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, en trigo cultivado bajo diferentes ambientes. Tesis de doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados de Chapingo. México.
- Grajeda, C. E. Soto, P. J. M. Y Uvalle B. J. X.1996. Estándares nutricionales para manzano "*red delicias*" mediante Diagnostico Diferencial Integrado (DDI) para Canatlan Durango. México. XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo Cd. Obregón, México.
- Guadalix, E. M. y Pardo, M. T. 1995. Relación del anión fosfato en los suelos de carga variable. Instituto de Edafología y Biología vegetal de Madrid. 32 P.
- Gunjigate, N, K., Wada. 1981. Effects of Phosporus concentration and pH on phosphate retention by active aluminium and iron of Ando soils. Soil Science. 132(5):347-352.
- Gununjigate, N. And K. Wada. 1981. Effects of fphosphorus concentration add pH on phosphate retention by active aluminum and iron of Ando Soils. Soil Science Vol 132 N 5 pp 347-354.
- Gutiérrez, R. E., S. B. Alcalde. 1984. Uso de método C.P. para diseñar practicas de fertilización y densidad de poblaciones en el cultivo de maíz en la Sierra Tarasca, Revista de Chapingo.
- Gutiérrez, R. E.,S. B. Alcalde. 1979. Variaciones de algunas propiedades físicas-químicas en suelos de ando por la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos. Suelos de ando y sus implicaciones en el desarrollo agrícola de la Sierra Tarasca, Segunda Edición, pp 39-68.
- Herrera, A.; S; C. Quezada; C., Avila. 1988. Métodos de Trabajo Agroquímico. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 209 pp.
- Hidalgo, C., Etchevers, J. D. Y Quantin P. 1991. Imogolita en un Andisol de México. Turrialba, Vol 41 (4) 509-514.
- Honada, M; H. Kayama. and T. Hora. 1996. Factors affecting aluminum tolerance of cells in carrot (*Daucus Carota*) L.) Suspension Cells. Soil Science Planta Nutrition 42 (2) pp 401-406.
- Huang, B., Jhonson, J. w., Scott, N. S. And distribution of wheat genotypes in response to waterling and nutrient. Supply. Plant and soil 173: 47-57.
- INEGI 1989. Anuario Estadístico del Estado de México.
- Instituto Geográfica Agustín Cadazzi Subdirección Agrícola. 1991 Génesis y taxonomía de los Andisoles Colombianos. Instituto Agustín Cadazzi Investigaciones Vol. 3 pp 118 Santa Fe de Bogotá, D. C.

- Jakson, M. L. 1964. Análisis químico de suelos. Traducción al español de J. Beltrán. Omega Barcelona, España.
- Jones, B. J. and B. Wolf, 1984. Manual Soil Testing Procedure using modified (Wolf). Morgan Extracting Reagent. Benton Laboratories INC, Athens Georgia, USA.
- Jonhansen, C.; G. V., K. K. Subbarao; K. K. Lee; Sharma. 1995. Genetic manipulation of crop plants to enhance Integrated Nutrient Management in Cropping Systems the case of phosphorus IN: Proceedings of an FAO-ICRISAT Expert Consultancy Workshop. FAO, IAEA, ACRISAT. India.
- Jugenheimer, W. R. 1981. Maíz, variedades mejoradas, métodos y cultivos y producciones de semillas. De Limusa.
- Keide, R. M., J. Matok, , and J. Ishizuka. 1996. Effect of nitrogen sources on aluminum toxicity in wheat varieties differing in tolerance and aluminum, Soil Science Plant Nutrition 42(3) pp 651-657.
- Kuo, S. and Jellum E. J. 1994. The effect of soil phosphorus buffering capacity on phosphorus extractions by ion exchange-coated paper strips in some acid soils. Soil Science. Vol 15 (2) 124-131.
- Lampo, Z., Y. Xueming And I Katsuro. 1993. Morphological, chemical and humus characteristics of volcanic ash soils in Changbaishan and Wodalianchi, Northeast China. Soil Science Plant Nutrition 39(2) pp339-350.
- Leide, R. M. de Andrade, Motoki, Ikeda, and Junji, Ishizuka, 1996. Effect of nitrogen sources on aluminum toxicity in wheat. Varieties differing in tolerance to aluminum. Soil Sci. Plant Nutri. 42(3)651-657.
- Leidi, O. E., Gómez. 1991 Influencia de los niveles de hierro en la absorción de manganeso por plantas de soya. Turrialba, Vol 41, 2:166-237.
- Linsay, Y. W. AND W. A. Norvel L. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
- López, C. J. 1984. Efecto de la fertilización orgánica sobre la población microbiana en suelos de Ando en la Sierra Tarasca.
- López, H. D.; P. C. Burnham. 1974. The effect of pH on desorption in soil. Journal of Soil Science 25: 627-632.
- López, C. R. Ortiz, S. A. C. Quiñonez, G. H., Etchevers, B. J. D. 1990. Relación del pH en NaF con algunas propiedades químicas útiles en la caracterización de los Andisoles de la Sierra Nevada. Agrociencia. Vol. 3: 145-158.
- López, R. Y., y O. R. Martínez. 1994. Respuesta de *brachiaria brizantha* a roca fosfórica en suelos vírgenes y encañados. Turrialba, Vol 44, No 2, pp 100-104.
- Loue, A., 1988 Los microelementos en la Agricultura, Editorial, primera edición Mundi-Prensa, Madrid España.
- Lu, S and M. H. Miller. 1994 Prediction of phosphorus uptake by field-grown maize with the Barber-Cushman model. Soil Science. Am. J. 58: 852-857.

- Llanos, C. 1982 El Maíz, su Cultivo y Aprovechamiento Mundi - Prensa, Madrid España 15-111. pp
- Macy, D. 1936. The Quantitative Mineral Nutrient Requirements of Plants. *Plants Physiol.*
- Marschner, H. 1985. Nutrition of Higher Plants, De. Primera edición. Academic Press, N.Y.
- Marschner, H. 1995. Nutrition of Higher Plants, De. Segunda edición. Academic Press, N.Y.
- Mariscal, G. A., Soto P. M. J., Sánchez E. C. Y Uvalle B. X. 1996. Determinación de estándares para nitratos mediante el Diagnostico Diferencial Integrado (DDI) para Canatlan Durango. México. XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo Cd. Obregón, México.
- Martínez G. M; V. A. Arroyo. M. de J. S. Colín 1996. Doble Inoculación Endomicoriza V. A. Y *Azospirillum* en Maíz de dos Sitios del Edo. de México. XXVII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Obregón Son. 121p.
- Masumy Yamagishi, Yoshitako, K, K. And Yukio Yamamoto, 1995. Ca and Mg Uptake by soybean plants at different phosphate ion concentrations. *Soil Sci. Plant Nut.*, 41(1):157-159.
- Mclean, OE. . 1982, Soil pH and lime requeriment pp199-224 In A. L. Page, P. H. Miller and D. R. Keeney (ed). *Methods of soil analysis (part 2) secan edition. Agronomy). American Society of agronomy Soil Science Society of america Madison Wisconsin.*
- Medrano, B. A. 1993. Respuesta del triticale (*x Triticosecale wittmack*) a diferentes dosis de fertilización fosfatada y abonamiento, bajo distintos tratamientos de encalado en un Andosol. Tesis de Licenciatura Facultad de estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México.
- Mehadi, A. A.; W. R. Taylor. 1988. Phosphate adsorption by two highly-weathered. *Soil Science Society of America Jornal* 53:627-632.
- Menguiat, J. Y., Y. Watanable, G. B. Mascanina And T. G. Jaspar., 1996. Nitrogen mineralization in tropical rice soil. *Soil Science Plant Nutrition* 42(2) pp 229-238.
- Melsted, S. W., H.L. Motto, T.R. Peck 1969. *Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data.* Agron.
- Melsted, S.W. and T.R. Peck. 1973. Field sampling for soil testing. In L. m. Walsh and J. D. Beaton (eds.). *Soil testing and plant analysis, SSSA, Madison, Wisconsin.*
- Miramontes, B. E. T, Ortega. 1972. Efectos del carbonato y silicato de calcio sobre el rendimiento de sorgo y algunas propiedades químicas en tres suelos de México. Serie C (Mex.) pp. 81-94.
- Mocquot, B., J Vangronseld; H. Clijsters; M Mench. 1996. Copper toxicity in young maize (*Zea Mays L*) plants- effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and enzyme activities. *Source Plant & Soil.* 182 (2): 287-300, may.
- Moreno D: R., 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrimentos asimilables. INIA-SARH, México, D. F.

- Moncada de la F. J., 1960. Estudio Físico-químico de algunos suelos de origen volcánico del Estado de Michoacán- Tesis de maestría, Chapingo, México. Colegio de Postgraduado.
- Muriyen, S., 1984. Origen degradation, composition of soil saccherides, and soil microorganisms In H. Wada on tsuru (Editors). Soil Biomas-Population and metabolism of soil Micronism. J. Soil Sci., 31: 481-490.
- Noriega, A. C. G. 1988. Determinación del material foliar, representativo del estado nutricional del cafeto, tesis de licenciatura en la Universidad Autonoma de Chapingo. México.
- Núñez E. R. 1985. Efectos de la acidez del suelo sobre la producción de cultivo y su corrección mediante encalado, Serie Cuadernos de Edafología 2. Centro de Edafología, C.P. Chapingo México.
- Núñez, E. R. 1979. Evaluación de la aplicación de roca fosfórica, suelos de ando y sus implicaciones en el desarrollo agrícola de la Sierra Tarasca, Segunda Edición, pp 109-120.
- Núñez, E. R. J. G. Capulin, 1996. Roca fosforica de Baja California parcialmente acidulada o mezclada con superfosfato triple, como proveedor de fósforo a Ballico (*Lolium perenne* L.) XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo Cd. Obregón Sonora.
- Ochese, J. J., 1986. Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales. Editorial Limusa, México D. F.
- Okajima, H. 1980. Habilitación y mejoramiento de suelos derivados de cenizas volcánicas. En suelos derivados de cenizas volcánicas del japon (Ishisuka Y y Black, B.A. Eds) CIMMYT. México.
- Olsen S R., and L.A. DEAN. 1965. Phosphorus. In: C. A. BlacK (de) Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy Madison Wisconsin. Pp 1035-1049.
- Olvera, R. L. Ma; Y. Cajuste; T. Santos; D. A. Manjarrez. 1996. Efecto de algunos mejoradores sobre propiedades químicas de los Andisoles. XXVII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Obregón Son.
- Ortiz, B. V., C. V. Ortiz, 1990, Edafología , U. A. Ch. Departamento de suelos , 7ª Ed. México, D. F.
- Osaki, M., Hiroyuki Veda, Takuro Shinan, Hrokazu Matzui, and Tashiaki Tadano., 1995. Acumulation carbono and nitrogen compounds in sweet potato plants groun under diferent. Nitrogen Aplicaciones rates. Soil Sci. Plant Nutr. 41(3) :547-555.
- Osaki, M., T. Zheng, , K Konno, M. Okamura and T. Todano. 1996. Carbono- Nitrogeno interacción relates to P K Ca and magnesio nutrients in field crops. Soil Science Plant Nutrition. 42(3) pp 539-552
- Owwoche, J. O., Briggs K. G. And Taylor, G. J., 1996. The efficiency of cooper use by 5ª A/5RL. Weat-translocation lines and weat (*triticum aestivum* L.) cultivars, plant and soil. 1987: 113-120.
- Pandey S.H. Ceballos, G. Granados; D. E. Knopp. 1994. Developing maize that tolerates aluminum toxic soil. stress tolerance breeding, mize that resists insects drought low nitrogen, and acid soil CIMMIT. Mexico D:F:
- Parker D. R. 1997. Responses of six crop especies to solution Zinc²⁺ activoties buffered with EDTA. Soil Science Society of America Journal. 61(1): 167-176 Jan-Feb.
- Patrick, F. E .A., 1984. Suelos, su formación, clasificación y distribución. Primera Edición. Ed. C.E.C.S.A., México D.F.

Peña, O. B. 1984, Estudios para determinar el problema nutricional de suelos de la Sierra Tarasca. En : Los suelos de ando y sus implicaciones en el desarrollo agrícola de la Sierra Tarasca. (Trinidad S. a., y Miranda J.A. Eds.) 2 ed. CIAB-INIA C.P. Patzcuaro Michoacán.

Pérez, Z. O. 1990. Limitantes de la producción de maíz de temporal en la Fraylesca, Chiapas: II Factores químicos del suelo que afectan el desarrollo y reducción de los cultivos. Terra Vol. 8 1: 84 - 99.

Pérez, R. M. A. y H. R. González. 1996. Relaciones nutricionales de macro y micronutrientes en tres especies de Acacias. XXVII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Obregón Son.

Pérez, I. O., Nuñez, E. R. Etchevers, B. J. D., Giskin L. M. y Martínez, G. A. 1990. Foliar fertilization of corn with macro and micronutrients in andosol of México. Terra Vol 2:213-221.

Pérez, O. 1990. Limitantes de la producción de maíz de temporal en la Fraylesca, Chiapas. Factores químicos del suelo que afectan el desarrollo y producción del cultivo. Terra, 8:84-95.

Porfitt, R. L. Clayden, B., 1991. Andisol the development of a new order in soil taxonomy, Geoderma 49 :181-198.

Quantin, P. 1994. Introduction to the knowledge and management of indurated volcanic soil horizons. In Trans. 15th World Soil Science Congress, Acapulco, Symposium 1D 13, the indurated volcanic soil. 62: 436-444.

Randy, a. D. And Masahiko S. 1994. Aluminum release rates from allophanic andisols. Soil Sci. Plant. Nutr. 40 (1) 125-136

Reinhardt, H. H. 1983. Análisis de tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales de algunos cultivos tropicales CIAT. Cali Colombia.

Rivera, C. A.; F. G. Pérez, L- M. Hernández; M- H. Díaz. 1996. Corrección de pH en un suelo ácido mediante la aplicación de cal en el ejido de la fortuna Municipio de Tepic Nayarit.. XXVII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Obregón Son.

Reyes, C. P. 1990. El Maíz y su Cultivo. A. G. T. Editor México. 460 pp

Robles, S. R. 1983. Producción de granos y forrajes. Ed. Limusa México.

Robles, S. R. 1985. Mejoramiento de la expansión de maíces palomeros seleccionando por densidad específica. Tesis Post-profesional. Chapingo México.

Rodriguez, G. G. B. 1999. Comparación de métodos de diagnóstico para la evaluación del estado nutricional de *Alstremeria* en hidroponía, Tesis de licenciatura. FES Zaragiza. UNAM.

Romero, L. New statical approach for the interpretation of nutrient interrelationships.5. zinc/iron. Journal of Plant Nutrtn. 19 (8-9):1257-1267.

Rosas, C. D; A. T. Santos. 1996. Fertilización orgánica e inorgánica como fuente de Micronutrientes en el Cultivo de Maíz. XXVII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Obregón Son.

- Saigusa, M., and M. Nanzyo, 1996. Ellevation of Subsoil Acidity in Nonallophanic an Andisols by Phosphogupsum Application in topsoil. *Soil Science Plant Nutrition*. 42 (2) pp 221-227
- SA T. M. and D. W. Israel. 1996 Nitrogenn Asimilation in Nitrogeno-Fixing Soy bean plant during Phosphorus Deficiency Croop *Soil Science* 35; 814 820
- Salisbury, F. b., W. C. Ross. 1978. *Plant physiology*. Wwadsworth Publishing Company, Inc, Belmont, California 422 p.
- Santiago, D. S. A .1985. Evaluación cartográfica de la acidez en el Estado de México. Universidad Autónoma de Chapingo, México Tesis de licenciatura
- SEDAGRO. 1995. Evaluación Tecnológica de la Región de Valle de Bravo.
- Sharpley, N. A. And Smith, S. J., 1995. Nitrogen and phosphorus forms in soil recerning manure. *Soil Science Vol 159* 4: 253-258.
- Shoji, S., 1984. Genesis and properties of nonallophanics Andisols, *J. clay Sci. Jap*, 24: 152-165.
- Shoji, S., and Fujiwara, 1984. Active aluminio and iron in the humus horizonte of Andisol. Northe astern, Japon: Their Forms, propieteies and significance in Day Weathering. *Soil Science* 137:142
- Shoji, S., 1986: Mineralogical characteristics I primary minerals In: K. Wada editor, *Ando Soils in Japan* University, Fukuaka, Japan, pp21-40.
- Shoji, S., and Fujiwara, Y., 1984. Active aluminum and iron in the humus horizons of Andosols from northeten Japan: Their forms, propieties, and signficnce in clay weathering. *Soil Sci*, 137: 216-226.
- Shoji, S., Fujiwara, Y., Ymada, I and Saigusa, M. 1982.-Chemistry and clay mineralogy of Ando soils, Brown forest soils, and podzolic soils formed from recen towada ashes, northesten Japan. *Soil Sci.-* 133: 69-86.
- Shoji, S., Gandeza, A. T. And Kimura, K.1991. Simulation or crop response to polyolefin-coated urea, II Nitrogen uptake by corn. *Soil Sci. Soc Am. J.* 55 : 1468-1473.
- Shoji, S., Masai, N. And Randy D. 1993., *Volcanic Ash Soils; genesis propierties and utilization*. El sevier Science Puublisher. B. V. pp 288.
- Shoji, S., M Nanzyo; R. A. Dahlgren, and P. Quantin. 1996. Evaluation and proposed revisions for Andosols in the world reference base for soil resources. *Soil Science*. Vol 161. No 9. pp 604-615.
- Shoji, S., Kabayashi, S. Yamada, F. and Masui, J. 1975. Chemical and mineralogical studies on volcanic ashes. J. Chemical composition of volcanic ashes and their clasification. *Soil Sci. Plant*, 21: 311-318.
- Soltanpour, P. N., Mala Kouti, M. J. and Ranguí, A. 1996. Comparison of Diagnosis and recomendation integral system and nutrient sufficincy range of corn. *Soil Sci. Am. J.* 59:133-139.
- Silvori, E.; E. Montaldi, 1986. *Fisiología vegetal Vol II, Hemisferio Sur*, Buenos Aires, Argentina.

Ulrich, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Ann. Rev. Plants Physiol.*

Urquiaga S; y M. R. Boddey. 1996. Producción de cultivos en suelos de letreos con énfasis en suelos ácidos. *Terra* 14 No. 1:101-123.

Valdés, C. R., y E. S. Olivares, 1997. Interacciones nutrimentales en maíz evidencias por componentes principales. XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo Villa Hermosa Tab. pag 80.

Vallejo, T: O y H. López., 1993. Fracciones químicas de microelementos en el suelo en un agroecosistemas de caña de azúcar. *Turrialba* Vol, 43, No 4. Pp. 276-283.

Vanduijnbooden, N; T. C. Dewit, H. Vankeulen. 1996. Nitrogen, phosphorus and potassium relations in five major cereals reviewed in respect to fertilizer recommendations using simulation modelling. *Fertilizer Research.* 44(1):37-49, 1996.

Vargas, R. J. S., D. D. Richter And E. Burnemiza. 1994. Environmental impacts of nitrification and nitrate adsorption in fertilized andisol in the Valle Central of Costa Rica 157 (5)

Vázquez A. A. y N. A. Bautista. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua departamento de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo, México, D. F. Pp. 29.

Wada, K. and M. E. Horward 1974. Amorphous clay constituents of soil advances in *Agronomy.*

Wada, K. 1985. The distinctive properties of Andosoles. *Advances in Soil Science.* 2 174-229.

Wada, K. And Kakuto, Y., 1983. Intergredient vermiculite - kaolin mineral in a Korean ultisol, clays. *Clay miner.*, 31. 183-190.

Wendt, J. W., B. R. Jones; T. W. Bunderson; A. O. Itimu. 1996. Leucaena plus maize alley cropping in Malawi .2. residual P and leaf management effects on maize nutrition and soil properties *Agroforestry Systems.* 33(3):295-305, 1996.

Wolworth, J. L., Lettsch W. S. and Sumner M. E., 1986. Use of Boundary line in establishing, Diagnostic Norms Soil Csi. *Som. Am. J.* Vol 50: 123-127.E

Wrogh, J. R., C. V. Baligar. And J. L. Ahlrichs. 1989. The influence of extractable and soil solution aluminum on root growth of wheat seedling Vol 148 N 4

Zarate, U. J. L. 1986. Evaluación de la fertilidad de los suelos de pradera de la región de Teziutlán Puebla. Tesis de licenciatura Universidad Autónoma de Chapingo.