
Universidad de Guadalajara

FACULTAD DE AGRICULTURA



DEGRADACION QUIMICA DE LOS SUELOS DEL
VALLE DE ZAPOPAN,

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO

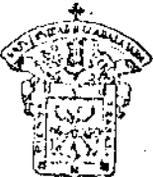
ORIENTACION SUELOS

P R E S E N T A

MARIA ANGELICA VARELA CORNEJO

GUADALAJARA, JALISCO.

1988.



Diciembre 16 de 1987

C. PROFESORES:

ING. ARTURO CURIEL BALLESTEROS, DIRECTOR

ING. ROGELIO MUELTA ROSAS, ASESOR

ING. PEDRO TOPETE ANGEL, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

° DEGRADACION QUIMICA DE LOS SUELOS DEL VALLE DE ZAPOPAN °.

presentado por el (los) PASANTE (ES) MARIA ANGELICA VARELA CORNEJO

han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección - su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"
EL SECRETARIO

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL

srd'



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Facultad de Agricultura

Expediente

Número

Diciembre 16 de 1987

ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRICULTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del Pasante _____

MARIA ANGELICA VARELA CORNEJO, titulada -

" DEGRADACION QUIMICA DE LOS SUELOS DEL VALLE DE ZAPOPAN ".

Damos nuestra aprobación para la impresión de la misma.

DIRECTOR

ING. ARTURO CORTEL BALLESTEROS

ASESOR

ING. ROGELIO HUERTA ROSAS

ASESOR

ING. PEDRO TOPETE ANGEL

hlg.

DEDICATORIA

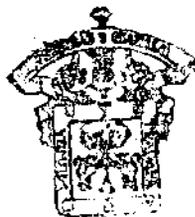


ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

A mi Padres, a Guillermo mi
esposo, y a mi hijo que
espero.

De manera muy especial a -
mi Madre, de la que
siempre he recibido -
apoyo en cada paso de
mi vida. Gracias.

AGRADECIMIENTOS



A DIOS

Porque me dio la vida y el amor.

A MIS PADRES Y HERMANOS

Que me han ayudado siempre en lo que he necesitado.

A MI ESPOSO

Que ha sido tan bueno y comprensivo conmigo.

A LA FACULTAD DE AGRICULTURA, MAESTROS Y COMPAÑEROS

Por la oportunidad que me han brindado de realizarme como profesionista, por su apoyo desinteresado.

AL ING. ARTURO CURIEL BALLESTEROS

Por todo el apoyo que he recibido, como Director de mi tesis y amigo.

A LOS INGENIEROS ROGELIO HUERTA ROSAS Y PEDRO TOPETE ANGEL

De quienes he recibido su apoyo profesionista como maestros y asesores de tesis.

A mis amigos: Noemí, Martín, Laura Angélica, Eva : quienes han estado conmigo en momentos de estudio y trabajo.

ESCUELA DE AGRICULTURA
LIBRERÍA

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE	iii
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS	iv
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
3. OBJETIVOS E HIPOTESIS	26
4. MATERIALES Y METODOS	27
5. RESULTADOS	38
6. DISCUSIONES	42
7. CONCLUSIONES	43
8. RECOMENDACIONES	46
9. RESUMEN	48
10. BIBLIOGRAFIA	50
11. ANEXO I (resultados)	54
12. ANEXO II (gráficas)	58

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

	Pag.
CUADRO 1. DAÑO A LAS RAICES DE ESPECIES FORESTALES CAUSADO POR EL ALUMINIO	11
CUADRO 2. PARAMETRO DE LA ELASTICIDAD DE LA CAPA DE HUMUS	13
CUADRO 3. CULTIVOS IMPORTANTES CONSIDERADOS GENERALMENTE COMO TOLERANTES A LAS CONDICIONES DE ACIDEZ DEL SUELO	15
CUADRO 4. ESPECIES GENERALMENTE SUSCEPTIBLES A LA ACIDEZ CON VARIEDADES TOLERANTES	16
CUADRO 5. GRADO DE EFICIENCIA DE LA CAL POR SU FINURA	21
CUADRO 6. CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS ENTRE EL pH Y LOS NUTRIENTES DEL SUELO	38
CUADRO 7. CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS ENTRE ALUMINIO Y LOS NUTRIENTES DEL SUELO	59
CUADRO 8. COEFICIENTES DE CORRELACION DE FACTORES DEL SUELO	40
CUADRO 9. DOSIS DE CALCIO RECOMENDADAS PARA EL VALLE DE ZAPOPAN	47
CUADRO 10. RESULTADOS DE LAS 50 MUESTRAS DE SUELO TOMADAS DEL VALLE DE ZAPOPAN	ANEXO 1
CUADRO 11. VALORES DE PSA1, Ca/Al y Al DE LAS 50 MUESTRAS DE SUELO DEL VALLE DE ZAPOPAN	ANEXO 1
CUADRO 12. VALORES DE pH DE AGUA DE LLUVIAS REGISTRADAS EN 1982, EN LA CD.DE GUADALAJARA	ANEXO 1
FIGURA 1. LOCALIZACION DEL MPIO.DE ZAPOPAN Y DEL VALLE	28
FIGURA 2. UBICACION DE LAS 50 MUESTRAS EN EL VALLE DE ZAPOPAN	32

1. INTRODUCCION

En los procesos de formación del suelo cuando el hombre interviene y causa disturbios en él, ocasiona una acelerada degradación del mismo con probabilidades de que en poco tiempo sea un suelo infértil.

Muchas veces para recobrar las propiedades que el suelo tenía, la inversión es demasiado alta, por lo que se dan por irrecuperables.

Cada vez es mayor la superficie afectada por la degradación y zonas que no mostraban indicios de ella, comienzan a presentarla. Es de gran importancia el conservar los suelos que aun son productivos.

En Zapopan, los suelos se conocen como buenos productores debido a su buena capacidad de retención de humedad. Esta propiedad unida a una fertilización alta, dió excelentes resultados durante mucho tiempo. Actualmente esta práctica es la causa de que los suelos disminuyan su productividad.

En los suelos zapopanos derivados de materiales ácidos de bajo contenido en bases y de baja capacidad de amortiguamiento, aunados a las fuertes aplicaciones de

fertilizantes de reacción ácida y al creciente número de lluvias ácidas que se han presentado, las cuales ascendieron hasta un 53 % de las lluvias en 1987 (ver anexo 1), - han provocado una aceleración en la degradación química y con ello la baja en los rendimientos.

La acidez de los suelos es causa de la baja disponibilidad de nutrientes a la planta por antagonismo, la formación de compuestos solubles además del aumento de la solubilidad de elementos que pueden ser tóxicos para las plantas.

El presente trabajo pretende definir hasta qué grado se encuentra avanzada la degradación química en los suelos del Valle de Zapopan.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 DEGRADACION DE LOS SUELOS (18)

La degradación de los suelos es "un proceso que disminuye la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativa y cualitativamente) bienes o servicios".

Decimos degradación actual cuando actúa en el momento presente, mientras que la degradación potencial es la prevista para el futuro, suponiendo que las condiciones naturales no varíen.

La degradación de los suelos es un proceso difícil de controlar, el cual se encuentra muy extendido. De no existir una buena y adecuada explotación del suelo o de suprimir la vegetación natural, aumenta el riesgo a la degradación del suelo.

Es urgentemente necesario conservar el suelo productivo que queda, e impedir que dicha degradación se extienda en áreas no afectadas todavía.

La degradación se encuentra afectada y depende de: el suelo, de su topografía, vegetación natural, el uso que se le da a la tierra y la explotación a que está sometida.

tido. A partir de ellos se reconocen 6 tipos de procesos de degradación del suelo, los cuales son los siguientes:

- a.- Erosión hídrica
- b.- Erosión eólica
- c.- Exceso de sales (de calcio y/o magnesio)
- d.- Degradación química (sustancias tóxicas)
- e.- Degradación física (compactación)
- f.- Degradación biológica (reducción de humus)

2.1. DEGRADACION QUIMICA

Esta se presenta cuando existe acidificación de los suelos hasta la toxicidad de los mismos.

La acidificación se debe a la lixiviación de las sales y la consecuente disminución de la saturación de bases en porcentaje por año.

La toxicidad se presenta cuando el pH es muy bajo y aumentan los elementos tóxicos en ppm/año.

Como estos dos procesos son a menudo activos principalmente en la capa arable, se toma en consideración la

(Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos, 1980)

capa del suelo comprendido entre 0 y 30 cm. de profundidad para no diluir el efecto.

Los suelos tropicales son particularmente propensos a la degradación química cuando poseen una fracción arcilla predominantemente caolínica con una baja capacidad de cambio de cationes.

Tanto los suelos arenosos muy permeables, como los suelos pobres en materia orgánica, tienden a la acidificación pues su capacidad de intercambio catiónico es muy bajo.

Cuando la topografía es llana, aumenta el riesgo a la lixiviación y con ello el riesgo a la acidificación.

Al desplazar la vegetación natural se conduce a la disminución de bases. Si es quemada la vegetación, las cenizas que quedan son arrastradas aumentando así la lixiviación.

El uso exagerado de fertilizantes, en especial en suelos ligeros de baja capacidad de amortiguamiento, conduce a la acidificación. (18)

2.3. ACIDIFICACION

Un suelo ácido es aquel que tiene una concentra-

ción de iones hidrógeno mayor de 10^{-7} , o lo que es lo mismo un pH menor de 7. Sin embargo la acidez del suelo, como limitante para el desarrollo de las plantas, por su influencia en la disponibilidad de nutrientes y concentración de sustancias tóxicas, sólo adquiere importancia cuando el pH es menor de 5.5. (10)

Cuando el pH del suelo es ácido, aumenta el antagonismo en la solución nutritiva del suelo. (5)

Se ha demostrado que los suelos minerales contienen muy poco H^+ intercambiable y que es el aluminio intercambiable (Al^{3+}) y no el H^+ el responsable de la acidez del suelo (Marshall, Coleman y otros citados por Kamproth, 1967). Solamente en suelos ácidos con alto contenido en materia orgánica, se encuentra algo de H^+ . (10,23)

El aluminio cuando es degradado lentamente por degradación de las arcillas, ocupa el lugar de los iones básicos, en este caso la acidez es mucho menos fuerte y el pH raramente es inferior a 5. A pH's superiores de 5 (entre 5 y 6), la acidez toma la forma de iones complejos aluminicos: $Al(OH)^{++}$ ó $Al(OH)^{2+}$, mucho menos cambiables. Esto explica que para un mismo grado de saturación, el pH puede ser diferente según sea el ión predominante, sea el H^+ , el Al^{+3} o el $Al(OH)_n$ en un medio poco ácido. (7)

Como se decía, el aluminio adquiere la forma de -- cambio a soluble a un pH inferior de 5 aproximadamente, - pero su concentración en la solución del suelo, incluso - en medio ácido es muy pequeña.

El comportamiento del aluminio en el suelo, es inverso a las bases en medio ácido. El porcentaje de acidez cambiante (Al, H, Mn, Fe) es la diferencia que resta del Porcentaje de saturación de bases (PSB) al 100%. (8)

El lavado aumenta la acidez. Las bases que han sido reemplazadas del complejo coloidal o que han sido disueltas por acidez percolante, son removidas en las aguas de drenaje. (2)

No sólo el Al^{+3} está presente en la acidez del suelo, también pequeñas cantidades de Fe, Mn y Zn intercambiables, que aunque en menor grado, causan también acidez al aceptar iones OH^{-} para pasar a compuestos insolubles, (10) por lo tanto, decimos que la acidez cambiante es causada casi completamente por iones de aluminio. (3)

2.4. TOXICIDAD

Decimos que las actividades de Fe, Mn y Al se incrementan al aumentar la acidez del suelo, encontrándose

más disponibles causando problemas de toxicidad y la inhi
bición de la materia orgánica (Pearson y Adams, 1967). (17)

Aunque la materia orgánica se presenta siempre en
pequeñas cantidades y a pesar de su escaso requerimiento
por las plantas, parece existir una deficiencia inicial -
generalizada.

La toxicidad por aluminio es un factor importante
de limitación de crecimiento en muchos suelos ácidos de
la región este de los Estados Unidos y Canadá y vastas re
giones de suelos ácidos en Sudamérica. En suelos superfi
ciales la alcalinización a pH 5.5 a 6.0 corrige el proble
ma, pero la cal aplicada a la capa de arado no penetra fá
cilmente las zonas más profundas del suelo. (17)

El daño fisiológico que causa el aluminio a las
plantas es de que inhibe la división y extensión celular,
actúa en las mitocondrias y núcleo, y una vez que se acu
mula en las meristemáticas, interfiere con el ADN y anula
el crecimiento radicular, impidiendo la absorción y tras
lado de nutrientes como el calcio y el fósforo con los
que llega a concrecionarse dentro de la célula manifestán
dose el daño con el engrosamiento de raíces y tejidos ne
croticos provocando muerte a determinadas concentraciones.
En el caso del maíz, una acumulación de 400 ppm de Al^{+3} -

en los tejidos lleva a la intoxicación.

El crecimiento deficiente de un cultivo en un suelo ácido puede correlacionarse directamente con el porcentaje de saturación de aluminio (PSA1), el cual se calcula de la siguiente manera:

$$PSA1 = \frac{\text{Al intercambiable}}{\text{Bases cambiables} + \text{Al intercambiable}} \times 100$$

Varios trabajos mostraron que hay menos de 1 ppm - de aluminio en la solución del suelo cuando el PSA1 es menor del 60 %. Sin embargo, el aluminio en la solución del suelo sube marcadamente cuando el PSA1 pasa del 60 %.

El crecimiento del cultivo del maíz no se ve afectado hasta que alcanza un 60% de saturación de aluminio.

Concentraciones de aluminio en la solución del suelo superiores a 1 ppm, frecuentemente son causa directa de reducción del rendimiento. (17)

Hay que tomar en cuenta que el valor de acidez del suelo y PSA1 se ven exagerados, cuando el valor del porcentaje de saturación de bases se calcula como la suma dividida entre la capacidad de intercambio catiónico (CIC) determinado con acetato de amonio a pH 7. (23)



Aunque el aluminio es el principal culpable, el crecimiento deficiente en suelos ácidos también puede deberse a deficiencias directas de Ca, Mg y K. (23)

En los trópicos, muchos suelos son deficientes en calcio sin que tengan problemas de toxicidad de aluminio.

Muchos estudios hechos en la zona templada indican que el aluminio tiende a acumularse en las raíces, impidiendo la absorción y el traslado del calcio y el fósforo a la parte aérea (Foy, 1974).

De esta manera la toxicidad aluminica puede producir o acentuar deficiencias de calcio y fósforo. (23)

Otros experimentos por Ulrich (1966) y Reuss (1983), indican que cuando la fracción de calcio desciende a valores menores de 0.15 equiv. en la solución del suelo, éste deja de dominar. Al descender el calcio se ve acompañado correspondientemente en el incremento de aluminio en --- equiv. en la solución del suelo.

El incremento del aluminio causa problemas tóxicos en las raíces. Observaciones de Mirach (1984), Rost-Siebert en especies forestales, demostraron el daño que causa el aluminio a las raíces de las plantas, mediante la relación Ca/Al, describiendo así el grado de toxicidad. (15)

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

CUADRO I. DAÑO A LAS RAÍCES DE ESPECIES FORESTALES CAUSADO POR EL ALUMINIO

Especies	Ca/Al	Riesgo por toxicidad del aluminio y síntomas observadas en las raíces
Abeto	< 1	sin riesgo, raíces saludables
	0.3-1	poco riesgo; aumento en el cambio de raíces, crecimiento y elongación de la raíz primaria decreciente.
	0.1-0.3	alto riesgo; muy pequeña elongación observada en las raíces, crecimiento de raíces fuertemente restringido.
	> 0.1	muy alto riesgo; daño extensivo de las raíces finas, crecimiento y elongación fuertemente restringido.
liaya	0.1-1	poco riesgo
	> 0.1	alto riesgo por toxicidad de aluminio.

Rost-Siebert (1985) (15)

Las condiciones químicas de los efectos del suelo

en su composición afecta a las raíces. Durante las fases de acidificación, mediante la razón Ca/Al , hay cambios no sólo en la solución del suelo, sino también en las raíces finas y medias. A baja relación Ca/Al existe la posibilidad de mortandad en raíces.

¿En qué se basa esta ley de Ca/Al ? Se basa en la ley de equivalencias de la capacidad de intercambio catiónico. Ya que el calcio siendo un elemento divalente es fácilmente desplazable por el aluminio trivalente, y que al faltar calcio alrededor de las raíces, éstas pierden su semipermeabilidad e inhibe su selectividad provocando condiciones de estrés en la planta.

La degradación por acidificación del horizonte Oh es caracterizada por el pH y la razón del equivalente de $Ca/(Ca+Al+Fe)$ en el Oh mineral. Esta relación expresa la saturación de bases en la capa de humus y describe la posibilidad de que cualquiera de estos cationes tiene la voluntad de liberarse durante la mineralización de los suelos orgánicos. La liberación de calcio es ecofisiológicamente significativo, mientras que el aluminio y el hierro pueden crear acidificación y problemas por toxicidad. La saturación de bases puede así ser utilizado como parámetro en la elasticidad de la capa de humus. (15) (Ver cuadro 2)

CUADRO 2. PARAMETRO DE LA ELASTICIDAD DE LA CAPA DE HUMUS

Ca/(Ca+Al+Fe)	Probabilidad de acidez tóxica
< 0.1	Muy pequeña probabilidad de acidez tóxica que afecte las raíces finas y las micorrizas.
0.05-0.1	Media probabilidad. Es probable - cambios primarios en las raíces - finas.
>0.5	Alta probabilidad de acidez tóxica durante el crecimiento y actividad en las raíces finas.

Meiwes, Khanna and Ulrich (15)

Otro efecto del aluminio, es que causa deficiencia de fósforo a las plantas. (17)

Algunos cultivos alimenticios importantes considerados generalmente como tolerantes a las condiciones ácidas de suelo en los trópicos son los siguientes: (24)

CUADRO 3. CULTIVOS IMPORTANTES CONSIDERADOS GENERALMENTE COMO TOLERANTES A LAS CONDICIONES DE ACIDEZ DEL SUELO

Nombre vulgar	Nombre científico
Yuca	Manihot esculenta
Cacahuate	Arachis hypogea
Guisante	Cajanus cajan
Plátano	Musa paradisiaca
Arroz	Oryza sativa
Papa	Solanum tuberosum
Chícharo	Vigna unguiculata
Marañón	Anacardium occidentale
Coco	Cocos nucifera
Guayaba	Psidium guajava
Lima	Citrus aurantifolia
Mango	Manguifera indica
Naranja	Citrus sinensis
Piña	Ananas comosus
Café	Coffea arabica
Hule	Hevea brasiliensis
Caña de azúcar	Saccharum affreinarum

Especies que generalmente son susceptibles a la acidez con variedades tolerantes, son las siguientes:

CUADRO 4. ESPECIES GENERALMENTE SUSCEPTIBLES A LA ACIDEZ CON VARIEDADES TOLERANTES

Nombre vulgar	Nombre científico
Frijol	Phaseolus vulgaris
Maíz	Zea mays
Sorgo	Sorghum bicolor
Soya	Glycine max
Camote	Ipomea batatas
Trigo	Triticum aestivum

Sánchez y Salinas (1983) (24)

2.6. MANEJO DE LA ACIDEZ DEL SUELO

El aluminio compite con el calcio en la solución del suelo por sitios de intercambio. Por consiguiente, la toxicidad de aluminio se puede disminuir con adición de calcio.

En general, los suelos dominados por arcillas 1:1 requieren un menor nivel de saturación de bases para una disponibilidad adecuada de calcio y magnesio para las plantas que los suelos dominados por arcillas 2:1. (24).

Se ha trabajado mucho en procurar encontrar métodos que satisfagan las necesidades de cal en los suelos. Sin embargo aún no se conoce completamente un método satisfactorio. Una cosa importante si se ha establecido y es que el objetivo de aplicar cal no es de elevar el pH sino neutralizar el aluminio intercambiable. (10)

La toxicidad de aluminio y las deficiencias de calcio y magnesio se presentan aproximadamente en un 70 % de las regiones de suelos ácidos e infértiles de América tropical. (25)

Para atenuar las limitaciones impuestas por la acidez del suelo sin hacer aplicaciones masivas de cal, se utilizan 3 estrategias: 1) cal para reducir la saturación de aluminio por debajo de los niveles tóxicos para sistemas agrícolas específicos; 2) cal dolomita para suministrar calcio y magnesio para estimular su movimiento y 3) el uso de especies y variedades tolerantes a la toxicidad de aluminio.

La recomendación para el encalamiento se deriva comúnmente de las siguientes fórmulas en las que el requerimiento de cal se expresa en meq de Ca o toneladas de CaCO₃ equivalente por hectárea: (24)

$$\begin{aligned} \text{meq de Ca}^{+2}/100 \text{ gr suelo} &= 1.5 \times \text{meq de Al}^{+3}/100 \text{ gr. suelo} \\ \text{ton CaCO}_3 \text{ eq/ha} &= 1.65 \times \text{meq de Al}^{+3}/100 \text{ gr suelo} \end{aligned}$$

Otra forma de expresarlo es que teóricamente 1 meq de Al^{+3} /100 gr de suelo se neutraliza con una tonelada de $CaCO_3$, 100 % puro (suponiendo un peso para la capa arable de 2000 toneladas). Sin embargo, se usa un factor de encalado que generalmente es de 1.5 para suelos minerales y de 2 a 3 para suelos orgánicos, con el fin de mejorar la eficiencia en la neutralización de la acidez. (10)

Las aplicaciones de cal en base a dichas formas generalmente neutralizan la mayor parte de aluminio intercambiable y aumentan el pH del suelo de 5.2 a 5.5. (24)

En Puerto Rico, en la caña de azúcar, el aluminio intercambiable fue más de 70% de los iones intercambiables, al añadir cal hasta reducir el aluminio a 30 %, la producción aumentó 4 veces. (6)

El PSA1 según López y Cox (1977) indican que, en la mayoría de los casos se debe considerar primero, puesto que los suelos que presentan el mismo nivel de aluminio intercambiable pero diferente grado de saturación de aluminio, presentarían diferentes respuestas al encalamiento en las mismas dosis de cal.

Evans y Kamprath (1970), Kamprath (1971) y otros investigadores, Spain (1976) han indicado que para muchos

cultivos, los requerimientos de cal basados exclusivamente en aluminio intercambiable puede sobrestimar las dosis de cal debido a diferentes grados de tolerancia de las plantas al aluminio.

Cochrane, et al (1980) desarrollaron una fórmula para determinar la cantidad de cal que se necesita para disminuir el nivel de saturación de aluminio de la capa superficial del suelo:

$$\text{cal requerida (ton CaCO}_3\text{-eq/ha)} = 1.8 (A1 - \text{RAS}(A1+\text{Ca}+\text{Mg})/100$$

Donde RAS es el porcentaje crítico de saturación de aluminio requerido por un cultivo, una variedad o sistema agrícola determinado para superar la toxicidad por aluminio y aluminio, calcio y magnesio son los niveles intercambiables de estos cationes expresados en meq/100 gr de suelo. Al compararlo con datos reales de campo, la capacidad de predicción de esta ecuación es excelente.

La adopción de dicha fórmula podría conducir a una utilización más efectiva de la cal y ahorros considerables en las cantidades aplicadas, como también en los costos. (24)

2.7. FINURA DEL MATERIAL DE ENCALADO

No sólo se necesita conocer la cantidad de cal por

aplicar al suelo para corregir una deficiencia o para contrarrestar el efecto del aluminio. Existen otros factores por considerar de un material de encalado, los cuales son los siguientes:

- Valor neutralizante
- Finura (en EUA se expresa en % de material que pasa por los tamices de 8,20,40,60,80 y 100 mallas por pulgada lineal)
- Pureza
- Contenido de calcio y magnesio
- Costo. (19)

Cuando una cantidad dada de cal es incorporada completamente al suelo, su reacción está relacionada con el tamaño de las partículas individuales. Si son gruesas su reacción será lenta. (27)

La cal que no pasa por una malla # 20 tendrá muy poca reactividad, la que pase por una malla # 60 reaccionará lentamente y la que pase por una malla # 100 reaccionará prontamente. (23)

Lo que realmente se necesita, es un material que requiera un mínimo de pulverización, que contenga bastante material fino para que se efectúe cambio en el pH, ma-

terial un poco más grueso para que actúe posteriormente - con un mayor efecto residual. (27)

Tenemos un ejemplo de CaCO_3 y los diversos grados de finura en el suelo y el grado de eficiencia que tendrá en un año:

CUADRO 5. GRADO DE EFICIENCIA DE LA CAL POR SU FINURA

Tamaño de partículas - eficiencia en un año (malla #)	(%)
menor de 60	100
entre 20 y 60	60
entre 8 y 20	20
mayor de 8	0

Observaciones en Ohio, EUA (19)

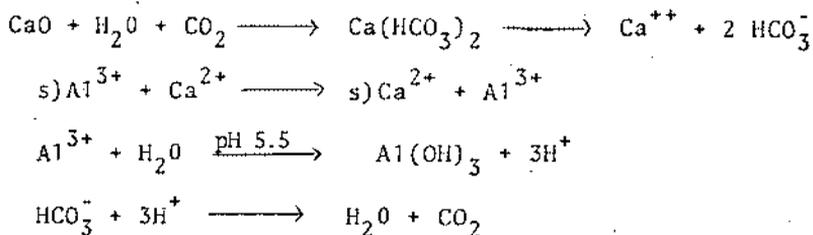
% de solubilidad	% de CaCO_3	finura
100	60	malla # 60
60	30	entre # 20 y # 60
20	10	entre # 8 y # 20
80		grado de finura

Muchas calizas muy finas pasan de malla # 200 del 50 al 60% de su contenido, pero debido al costo de la molienda para lograr su finura y la rapidez con que tales materiales desaparecen en el suelo, indican que no es muy

conveniente, siendo mejor la cal de tamaño medio, que con tenga suficientes partículas finas para dar buenos resultados y fragmentos más grandes. (2)

En el grado de finura no hay problema con el CaO y el CaOH₂ ya que se consideran pulvulentos. (27)

La solubilización del calcio se presenta de la siguiente manera:



2.3. CORRELACION ENTRE ANALISIS DE SUELO Y RENDIMIENTO

Los aspectos más difíciles del proceso de evaluación de fertilidad del suelo son la correlación, interpretación y las recomendaciones de fertilizantes debido a la complejidad del fenómeno involucrado. Un análisis de suelo por sí no tiene valor; es una cifra empírica que puede reflejar o no la disponibilidad de un nutrimento en forma indirecta.

El crecimiento y el rendimiento de cultivos son -

funciones de muchas variables más allá del simple nutri-
mento en consideración. Los rendimientos verdaderos son
función de más de 100 variables, que pueden agruparse en
las categorías suelo, cultivo, clima y manejo (Fitts, -
1955). Por lo tanto, cuando el rendimiento se correlacio-
na con una variable, tal como fósforo disponible es un -
factor limitante más importante que las numerosas varia-
bles sin controlar en cualquier estudio de correlación.

Cuando se usa rendimiento relativo en lugar de ren-
dimiento absoluto, la variabilidad se reduce considerable-
mente. Los cálculos del rendimiento relativo son de dos
clases: respuesta en porcentaje de rendimiento, en el -
cual la verdadera respuesta de rendimiento se divide en-
tre el rendimiento absoluto a nivel cero, y el valor que
se obtiene cuando el rendimiento a cierto nivel de ferti-
lidad se divide entre el rendimiento máximo obtenido. En
ambos casos los valores de rendimiento relativo reducen -
la variabilidad de los resultados y dirigen la correla- -
ción del análisis de suelo hacia la meta realística: la -
predicción de la situación suelo-cultivo en que hay proba-
bilidad de respuesta significativa a fertilización (Waugh
et al, 1973). Las correlaciones de análisis de suelo no
pueden predecir rendimientos, ni aún respuesta de rendi-
miento absoluto debido a las muchas otras variables invo-

lucradas. (23)

Un avance muy importante en este tema tuvo lugar con el desarrollo del método Cate-Nelson (Cate y Nelson, 1965). El método gráfico simple consiste en marcar con puntos los rendimientos relativos en función del análisis de suelo. Se usa una hoja transparente de superposición dividida en cuadrantes por líneas horizontales y verticales. Esta hoja se superimpone sobre los datos, de manera tal que el mayor número de puntos caigan en los cuadrantes superior izquierdo y derecho inferior. El punto en que la línea vertical corta el eje "x" se considera que es el nivel crítico para el método de análisis de suelo bajo consideración. El punto en que la línea horizontal corta el eje "y" separa a los suelos de respuesta alta de los de respuesta baja. Por lo tanto, el nivel crítico divide los puntos con probabilidad de una respuesta de rendimiento grande, de los con poca probabilidad de que se obtenga respuesta.

La ventaja principal del procedimiento Cate-Nelson es que reconoce la limitación básica de las pruebas de suelo: éstas sólo son capaces de separar los suelos con probabilidad de responder al fertilizante de los que probablemente no respondan. (23)

El propósito de la interpretación de los análisis_ de suelo es establecer la cantidad de cada nutrimento que debe aplicarse para lograr una cierta respuesta de rendimiento en una categoría predecible de cultivo-suelo - - - (Vaugh, et al, 1973). Una categoría separada de cultivo-suelo indica que la interpretación debe ser distinta para suelos que están encima o debajo del nivel crítico y también para cultivos diferentes. (23)

3. OBJETIVOS E HIPOTESIS

OBJETIVO

- 1.- Conocer el efecto de la acidez en el rendimiento de maíz.
- 2.- Diagnosticar la degradación química causada por el aluminio.

HIPOTESIS

- 1.- En el valle de Zapopan, la acidez presente afecta la disponibilidad de los nutrientes.
- 2.- A pH's menores de 5.5. la concentración de aluminio soluble aumenta causando una disminución en la disponibilidad de nutrientes y en los rendimientos por lo que existe relación estrecha entre ellos.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. DESCRIPCION MUNICIPAL

El Municipio de Zapopan se localiza geográficamente a los $20^{\circ}35'$ y $20^{\circ}58'$ latitud norte, y $103^{\circ}20'$ y $103^{\circ}39'$ longitud oeste, con una extensión de 89,315 Has. Colinda con los municipios de Tequila y San Cristóbal de la Barranca al norte; al sur con Tlajomulco de Zúñiga y Tlaquepaque; al oeste con Amatitán, Arenal y Tala y al este con Ixtlahuacán del Río y Guadalajara. (26) (Figura 1)

4.2. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.2.1. LOCALIZACION

El Valle de Zapopan se localiza a $20^{\circ}40'$ y $20^{\circ}51'$ latitud norte y a los $103^{\circ}20'$ y $103^{\circ}34'$ longitud oeste. Está limitado al norte por la Mesa de San Isidro, al noroeste por el Cerro San Esteban, al este por la Barranca de Huentitán, al sureste con la ciudad de Guadalajara, al sur con el Bosque "La Primavera", al oeste y suroeste con el Cerro del Tepopote, Cerro La Loma y La Mesa Colorada. Su área es de aproximadamente 20,497 Has.

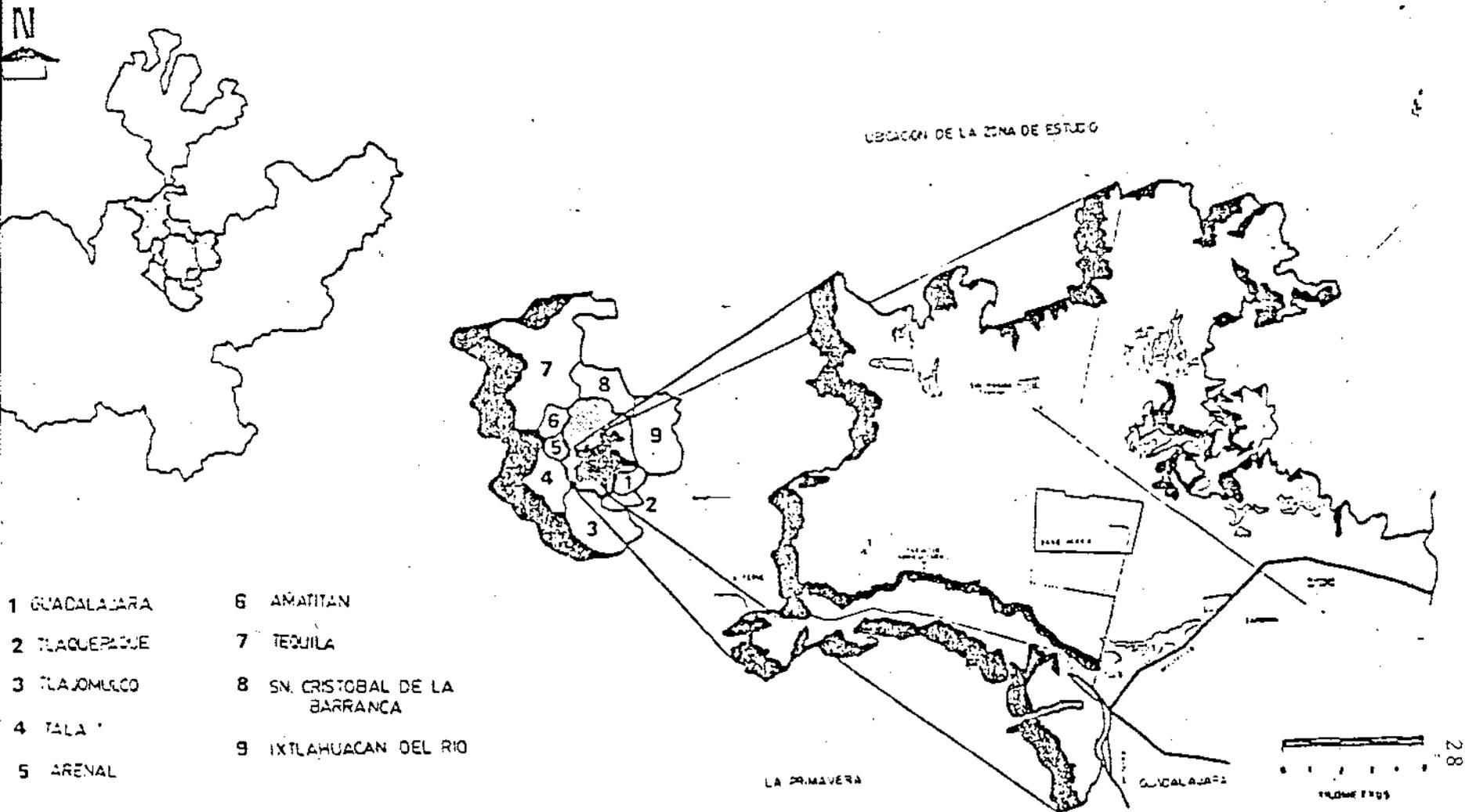


FIG.1. LOCALIZACION DEL VALLE DENTRO DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN

4.2.2. CLIMA

Según clasificación climática de Köppen modificada por E. García (1973), corresponde a la fórmula (A)C - - Wo(W)(i')g para Zapopan. El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano y lluvias invernales menores del 5 %, con una precipitación media anual de 933.5 mm. La temperatura media del mes más cálido es de 25°C y la mínima del mes más frío de 18.2°C, siendo la media anual de 21.7°C. (25)

4.2.3. FISIOGRAFIA Y GEOLOGIA

Se localiza en la provincia del eje neovolcánico - en la subprovincia de Guadalajara. (26). La topografía es sensiblemente plana con lomeros aislados de baja altura.

El material que dió origen a estos suelos es de carácter ligero como pómez y cenizas (ignimbritas), por lo que estos suelos están expuestos a una erosividad alta. (1)

4.2.4. SUELOS

De acuerdo a sus características el suelo corresponde a un regosol eútrico (FAO/UNESCO).

Son suelos de textura muy ligera de arena o migajón arenoso, capaces de retener alto porcentaje de humedad. Son de reacción ácida ($\text{pH} < 6.5$) y escasos en materia orgánica (alrededor del 2%). Son ricos en potasio y pobres en nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio. (20)

La arcilla predominante es la caolinita, lo que le confiere una baja capacidad de intercambio catiónico. (9)

4.2.5. PRODUCCION

Los cultivos dominantes son el maíz y la caña de azúcar, le siguen otros en menor importancia como el sorgo, hortalizas y frutales.

La producción en el Estado de Jalisco tuvo un gran incremento ya que en 1958 fue de 742,875 Tons. y para 1964 la producción fue de 2'020,123 Tons. (21) En 1975 el promedio fue de 4 Ton/Ha. en Zapopan (13); a 10 años, en 1985 el promedio fue de 2.48 Ton/Ha., lo que demuestra una baja en la producción.

4.3. MATERIALES

Fotografías aéreas escala 1:30 000 (aerofoto, B/N, 1985)

50 muestras de suelo

Laboratorio y equipo para análisis químico
Computadora apple lle

4.4. METODOLOGIA

Utilizando las fotografías aéreas y por medio de fotointerpretación se diferenciaron sitios de muestreo tomando en cuenta la fisiografía, hidrografía, tenencia y manejo del suelo. De acuerdo al número de parcelas presentes (aprox. 2000) se consideraron 50 muestras como representativas del área total en un 90 % de confiabilidad y precisión de 300 kg de maíz /Ha. (Figura 2).

De las muestras se hicieron varias observaciones, como densidad aparente, estructura, profundidad, color, pendiente, textura, materia orgánica, CIC, pH, fósforo, calcio, magnesio, sodio, potasio, aluminio, hierro, manganeso, zinc y molibdeno. Estos análisis fueron realizados en la Facultad de Agricultura y otros en el Laboratorio de Suelos y Apoyo Técnico de la SARH.

En el sitio de cada muestra se evaluó el rendimiento de maíz siguiendo la metodología de parcelas experimentales.

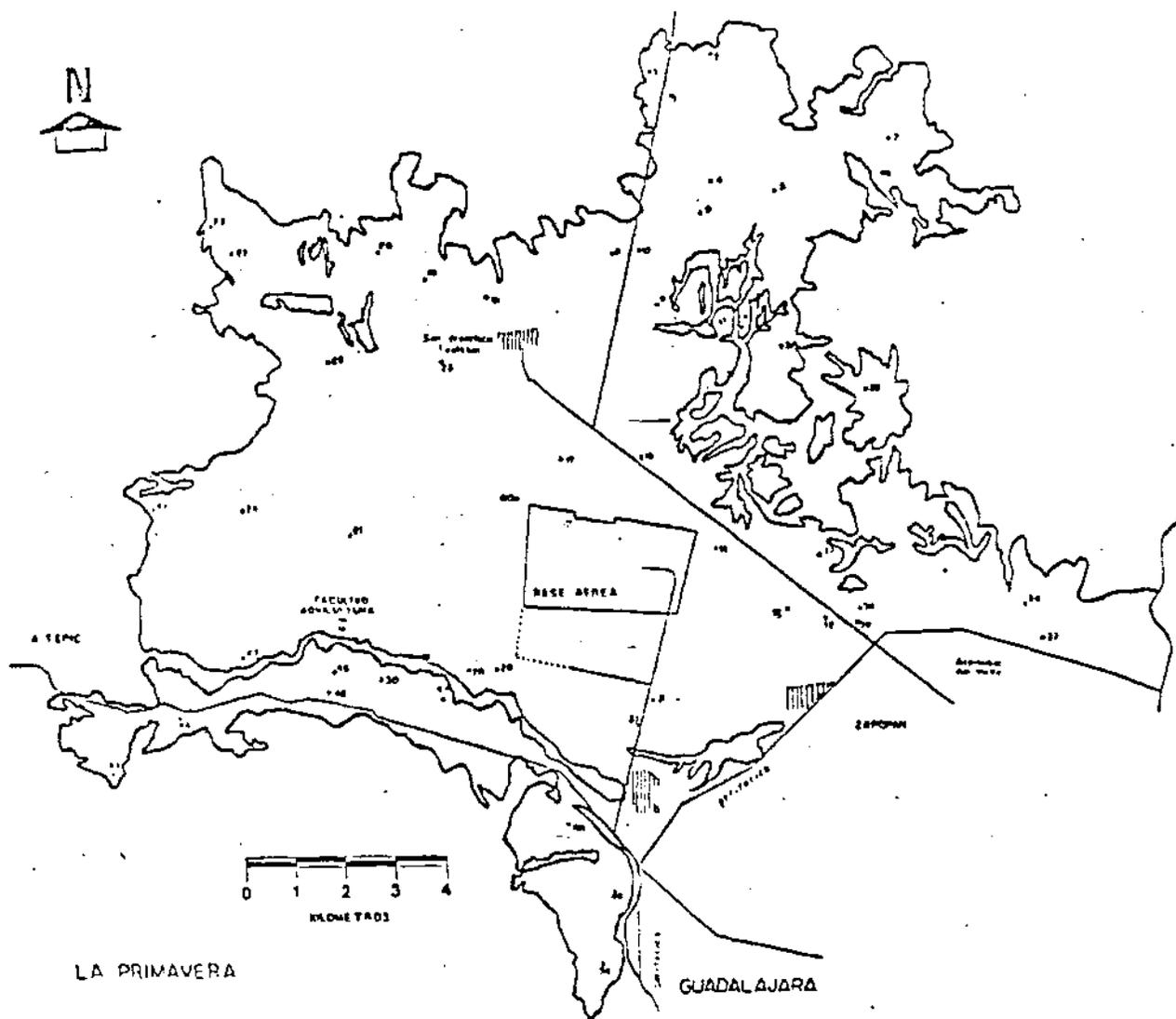


FIG.2. LOCALIZACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO

4.5. ANALISIS QUIMICOS

Determinación de aluminio (Método de aluminón).

Reactivos

1.- Aluminón.- Se disuelven 0.75 gr de NH_4 -aluminón, 15 gr de goma de Acacia, 200 gr de NH_4OAc y 189 ml de HCl concentrado. Se disuelven separadamente en agua caliente. Se mezclan las soluciones y se filtra. Se ajusta a pH 3.5 con NH_4OH o ácido acético. Se diluye la solución a 1500 ml.

NOTA: Para que se disuelva la goma de Acacia es necesario que hierva.

2.- Solución de ácido tioglicólico.- Se diluye 1 ml de ácido tioglicólico puro a 100 ml de agua destilada.

3.- Solución estándar de aluminio.

a) Concentración de la solución de aluminio estandarizado de 500 ppm. Se diluye exactamente 0.500 gr de aluminio metálico en 15 ml de HCl 6 N en un frasco volumétrico de un litro. Se diluye la solución a un litro con agua destilada.

b) Solución diluida del aluminio estandarizado

a 5 ppm. Pipetear 10 ml de la solución a 500 ppm. Se diluyen los 10 ml a un litro utilizando agua destilada.

Procedimiento

Con 10 gr de suelo se obtienen 100 ml de extracto de suelo con $\text{ClK } 1 \text{ N}$. Del extracto de suelo se toma una alícuota de 2 ml. En un tubo de ensayo de 50 ml se mezclan los 2 ml de alícuota y 25 ml de agua. Se agrega 2 ml de la solución de ácido tioglicólico y se mezcla. Posteriormente se añaden 10 ml de aluminón y se mezcla de nuevo la solución. Se introduce el tubo en un vaso de precipitado con agua en ebullición constante exactamente durante 16 minutos.

Pasado el tiempo de ebullición, se deja enfriar el tubo durante 1 hora y media a 2 horas. Posteriormente se diluye el contenido a 50 ml con agua destilada y se mezcla.

Se ajusta el espectrofotómetro a una longitud de onda de 530 μ de tramitancia, y a 100% de transmisión.

Antes de calcular la muestra, se preparan 7 tubos con 0, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 ml de la solución 5 ppm respectivamente. Se procede de igual manera que con la muestra hasta el momento de observar la lectura en el espectrofotó

metro. Conociendo las ppm de aluminio intercambiable de cada tubo (0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2) y con los valores de transmisión que da el aparato, se realiza la curva de comparación para las muestras siguientes. Así, los valores de transmitancia obtenidos de las muestras comparadas con la curva, nos darán valores en ppm de aluminio intercambiable en solución. (14)

Las otras determinaciones se realizaron con los siguientes métodos:

pH mediante el potenciómetro, utilizando una dilución de 1 : 2.5 en agua; el valor obtenido fue de la acidez activa.

Nitrógeno total por el método Kjeldahl-Gunning, nitratos (colorimétrico), CIC (acetato de amonio), Ca y Mg (espectrofotómetro y verseno), K (espectrofotómetro de absorción atómica), Mn, Fe, Cu y Zn (espectrofotómetro de absorción atómica) y el P (Bray 1 y colorimétrico).

4.6. ANALISIS ESTADISTICO

El pH fue correlacionado con el rendimiento, y los nutrientes (P, Ca, Mg, K, Mn, Zn, Cu, Fe) determinados, de manera que se pueda observar con claridad la influencia que tiene el pH en la presencia de ellos en el suelo, y su disponibilidad.

Para comprobar si existe relación estrecha entre el aluminio intercambiable y el pH, se efectuó la ecuación de regresión. De igual forma se obtuvo el porcentaje de saturación de aluminio y su relación con el pH, así como con el rendimiento.

Las ecuaciones de regresión utilizadas fueron la lineal, cuadrática, cúbica, cuarta exponencial, radical, recíproca, exponencial, geométrica y logarítmica, eligiendo para su interpretación la de correlación más alta.

El valor de porcentaje de saturación de aluminio se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$PSA1 = \frac{A1}{Ca+Mg+Na+K+A1} \times 100$$

Con el fin de observar los efectos de antagonismo que causa el aluminio intercambiable, se correlacionó con

los demás elementos del suelo.

Según sea la presencia de aluminio intercambiable y calcio en el suelo, este último puede desplazar al aluminio y detener el daño que podría causar al suelo y a las plantas. Por medio de la relación Ca/Al se puede conocer si existe efecto tóxico del aluminio a las plantas, sabiendo que para desplazar un meq de aluminio se requieren de 1.5 meq de calcio.

5. RESULTADOS

Se correlacionó el pH con los macro y micronutrientes del suelo, con el rendimiento y con el aluminio resultando ser significativos los siguientes:

CUADRO 6. CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS ENTRE EL pH Y LOS NUTRIENTES DEL SUELO

	r
pH - Al meq/100 gr suelo	- 0.774 ***
pH - PSA1	- 0.772 ***
pH - Mg ppm	0.355 **
pH - P ppm	0.326 **
pH - Ca ppm	0.406 **
pH - Cu ppm	0.463 ***
pH - Zn ppm	0.488 ***
pH - K ppm	0.258 *
pH - N %	0.394 **
pH - Mn ppm	0.240 *

Oliver y Boyd (13), 1981.

Todos los anteriores tuvieron significancia en respuesta a la correlación. Podemos ver que todos los nutrientes aumentan conforme aumenta el pH, excepto con el aluminio, el cual tiene una respuesta negativa de pH respecto al aumento del aluminio, con la correlación más alta.

En lo que respecta al rendimiento, su correlación no fue significativa (0.041), por lo que podemos decir que el rendimiento no está afectado en gran parte por el pH, sino que existen otros factores más fuertes que afectan al rendimiento.

Respecto a las correlaciones de aluminio en ppm con los nutrientes, sus correlaciones fueron las siguientes:

CUADRO 7. CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS ENTRE ALUMINIO Y LOS NUTRIENTES DEL SUELO

	r
Al ppm - Mg ppm	- 0.706 ***
Al ppm - K ppm	- 0.479 ***
Al ppm - P ppm	- 0.308 **
Al ppm - Cu ppm	- 0.479 ***
Al ppm - Zn ppm	- 0.483 ***
Al ppm - Rendimiento	- 0.251 *
Al ppm - Ca ppm	- 0.233 *
Al ppm - N %	- 0.260 *

Oliver y Boyd (13), 1981

Podemos observar que en todos existe respuesta negativa, es decir, al aumentar las ppm de aluminio bajan los contenidos de los demás nutrientes, lo que nos demuestra

tra el daño que causa el aluminio al suelo en cuanto a disponibilidad de nutrimentos a las plantas.

Observemos también, que si bien el rendimiento no estuvo afectado por el pH, por el aluminio sí lo está y que su presencia en el suelo lo afecta mayormente en la disponibilidad de los nutrientes.

CUADRO 8. COEFICIENTES DE CORRELACION DE FACTORES DEL SUELO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. pH	1								
2. Al	-.688	1							
3. % N	.394	-.260	1						
4. K ppm	.258	-.301	.633	1					
5. Cu ppm	.463	-.422	.475	.306	1				
6. Fe ppm	.187	-.172	.733	.599	.415	1			
7. Mn ppm	.240	-.097	.487	.367	.151	.480	1		
8. Zn ppm	.488	-.425	.512	.427	.866	.383	.040	1	
9. Na ppm	-.189	.204	.130	.148	.033	-.070	.139	.090	1

Casillas, 1988 (4)

Niveles de significancia para $n-2$ G.L.

$r_{0.1} = 0.2306$

$r_{0.05} = 0.2732$

$r_{0.01} = 0.3541$

Para demostrar el comportamiento de las correlaciones (ver anexo II) donde están las gráficas y la distribución de los puntos en aquellas en que hubo significancia en un 95 y 99 %.

Al observar las gráficas podemos ver una similitud del comportamiento de la curva en todas las correlaciones de aluminio y los nutrientes; al haber menos contenidos de aluminio, existen mayores cantidades disponibles de otro elemento, y al ir aumentando el aluminio en el suelo, éste actúa antagónicamente con ellos. Por lo tanto, como hemos visto, las correlaciones son negativas, contrariamente e inversamente proporcionales a las curvas del pH y los nutrientes.

Tablas de regresión de Oliver y Boyd Limited, Edimburgo - (13), 1981

- * $r 0.1 = 0.2306$ (significativo)
- ** $r 0.05 = 0.2732$ (muy significativo)
- *** $r 0.01 = 0.3541$ (altamente significativo)

6. DISCUSIONES

Los valores de correlación de pH con el aluminio - en meq/100 gr de suelo y el pH con el porcentaje de saturación de aluminio (PSA1), tienen estrecha relación y dependencia hasta en un 60 % (r^2), es decir, al aumentar el aluminio intercambiable o en solución el pH es cada vez - más ácido.

El pH influye en la disponibilidad de nutrientes - para las plantas, y observamos que el calcio, magnesio, - fósforo, cobre y zinc están menos disponibles a mayor aci- dez.

El aluminio actúa en forma antagónica con algunos - nutrientes. Al implantarse en las raíces de las plantas, impide la absorción y traslado del calcio y fósforo a la planta; podemos observar que es muy significativa esta re- lación.

El aluminio por ser trivalente, desplaza a los ele- mentos monovalentes y divalentes del complejo de intercam- bio con gran facilidad reduciendo así su disponibilidad y facilitando su lixiviación y consecuente disminución en - el suelo.

En la relación Ca/Al, resulta ser más peligroso el daño por toxicidad de aluminio al SW del valle de Zapopan, donde es mayor los meq de aluminio que de calcio.

7. CONCLUSIONES

- 1.- El aluminio intercambiable es la principal causa de acidez en los suelos. Esto es debido probablemente a que el material de origen es bajo en el contenido de bases y la capacidad de intercambio catiónico es escasa, ya que la poca cantidad de arcillas existentes en los suelos, son de tipo caolinítico.
- 2.- Debido a esta acidez ocasionada por el aluminio, la disponibilidad de nutrientes se reduce (aceptándose la hipótesis 2), ya que ocupa lugar alrededor de las raíces de las plantas impidiendo la absorción y traslado de éstos, como es el caso del fósforo, calcio y magnesio.
- 3.- Además, es probable que el aluminio intercambiable forme compuestos insolubles con los fosfatos, los cuales son insensibles al crecimiento de las plantas:

$$\text{Al}^{+3} + \text{PO}_4\text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{H}^+ + \text{PO}_4\text{H}_2(\text{OH})_2\text{Al}$$
- 4.- La disponibilidad del cobre y el zinc debe ser mayor en pH ácidos, acentuándose cuando el pH cae por debajo de 5; en el análisis estadístico resulta lo contrario. Esto se debe a que el cobre y el zinc tienden a solubilizarse a pH ácidos pero habiendo poco contenido de ellos en el suelo, y altos contenidos de alumi-

nio, se entiende que el resultado en la correlación se encuentra en desventaja, por lo tanto no se considera significativo el efecto.

- 5.- Aparentemente en el análisis estadístico no resulta ser significativa la influencia del pH con el rendimiento, en cambio, el aluminio sí tiene mayor influencia en él. Con una probabilidad de 90 % podemos decir que el aluminio afecta al rendimiento de maíz ya que los nutrientes se encuentran menos disponibles.
- 6.- Según algunos autores, el maíz es considerado como resistente a las concentraciones de aluminio intercambiable, tal vez sea ésta la razón por la cual no es muy visible el daño causado por él.
- 7.- La toxicidad causada por aluminio a las plantas (como maíz y caña de azúcar) no es visible aún, aunque es más probable que se presente al SW del valle en primer término.
- 8.- Todos los daños causados por el aluminio al suelo o al cultivo deben de considerarse. Por otra parte si aun no son palpables, debe de atacarse el problema de inmediato, ya que el aumento de lluvias ácidas es incontrollable. Debemos reducir la aplicación de fertilizantes de reacción ácida e intensificar

la introducción de calcio al suelo.

- 9.- La aplicación de calcio al suelo debe de contrarrestar el efecto del aluminio; por lo tanto, deberá aplicarse 1.5 veces calcio más de aluminio.

8. RECOMENDACIONES

Para atacar el problema de acidez, es necesaria la aplicación de cal al suelo. Pero esta aplicación debe estar de acuerdo, contrarrestando las causas que provocan la acidez, como es el caso del aluminio intercambiable. A esto nos referimos a no querer mejorar al suelo a partir únicamente del pH, pues incurrimos en error.

Según las recomendaciones, el encalado debe ser de acuerdo a la cantidad de aluminio intercambiable en la capa arable del suelo por 1.5. El resultado será el calcio necesario por aplicar en forma de cal según su presentación. Con este método se neutraliza de un 85 a 90 % el aluminio intercambiable en suelos que contengan de 2 a 7% de materia orgánica. El promedio de m.o. en el valle es de 2.55%, pero el 44% de las muestras presentan valores menores del 2%; por lo tanto se recomienda la aplicación de m.o. y cal en forma conjunta.

La aplicación de calcio a los suelos del Valle de Zapopan se muestra en el cuadro 9. El calcio por aplicar fue obtenido a partir del aluminio intercambiable, pero se explica de acuerdo al pH, ya que su valor es más fácil de obtener. El cuadro muestra valores de pH de 4 hasta 5.5, cuando el aluminio deja de ser peligroso.

Los valores de calcio se obtuvieron a partir de la ecuación $\log y = - 8.69 \log x + 5.94$ con un coef. de correlación de 0.71.

CUADRO 9. DOSIS DE CALCIO RECOMENDADAS PARA EL VALLE DE ZAPOPAN.

pH	Ca Ton/Ha	CaCO ₃ *	CaO	Ca ₂ OH
		Ton/Ha.		
4.0	2.51	6.28	3.51	3.04
4.2	1.58	3.95	2.21	1.92
4.4	1.00	2.50	1.40	1.21
4.6	0.63	1.58	0.88	0.76
4.8	0.38	0.95	0.53	0.46
5.0	0.22	0.55	0.31	0.27
5.2	0.11	0.28	0.15	0.13
5.4	0.03	0.08	0.04	0.04
5.5	0	0	0	0

* Un buen grado de fineza debe ser de malla # 60, para tener un grado de eficiencia al año del 100%.

9. RESUMEN

La degradación química es un problema ya presente en el Valle de Zapopan. La acidez del suelo causada principalmente al abuso de fertilizantes nitrogenados de reacción ácida y los últimos 10 años al aumento de lluvias ácidas, aunado esto a la baja capacidad amortiguadora de los suelos, ha provocado que se encuentren más expuestos a una aceleración en la acidificación y a la concentración de aluminio.

El aluminio intercambiable presente en el Valle, es la principal causa de que se reduzca la disponibilidad de nutrientes a la planta (como el calcio, magnesio, fósforo, cobre y zinc principalmente), ya sea formando compuestos insolubles inaprovechables por la planta, como es el caso del fosfato de aluminio; o bien, impidiendo su absorción y traslado a través de la misma, ya que el aluminio por ser de triple valencia, es más fácilmente absorbido por la planta, desplazando así a los nutrientes monovalentes y divalentes del complejo de intercambio.

La influencia del aluminio en los rendimientos, aún no es muy palpable, pero el daño está presente, principalmente en la parte SW del Valle donde la concentración de aluminio llega a ser mayor respecto a la concen-

tración de calcio.

El control debe ser inmediato y no esperar a que el daño por toxicidad de aluminio sea visible. La forma de equilibrar al suelo es mediante la aplicación de calcio, pero no conforme a las fórmulas convencionales a partir del pH, sino a partir de la concentración de aluminio que es el problema que se debe resolver.

Se calculó las toneladas de calcio por aplicar -- partiendo del aluminio, pero se refieren al pH que es más conocido por la mayoría de los agricultores. (Ver cuadro 9).

10. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Becerra Vivar J., Damián Silva P., Sandoval Esparza - J.C., Torres Chávez A. Levantamiento Geológico del - Municipio de Zapopan. Tesis de la Fac. de Agricultura de la U. de G. 1986.
- 2.- Buckman y Brady. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simon S.A. Imp. España, 1977.
- 3.- Buol S. W. Génesis y Clasificación de suelos. Ed. Trillas. Imp. México, 1983.
- 4.- Casillas R., M. Disponibilidad del Fósforo en suelos regosol. Tesis de la Fac. de Agricultura de la U. de G. 1988.
- 5.- Curiel Ballesteros A. Manejo de suelos y aplicación de fertilizantes. Ed. INCA Rural. Imp. México, 1983.
- 6.- Donahue, Miller y Shicklura. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Prentice/Hall Internacional. Imp. España, 1981.
- 7.- Duchaufour P. H. Edafología I. Edafogénesis y clasificación. Ed. Masson. Tr. por Tarsy y Modesto Carballos. Imp. España, 1984.

- 8.- Fassbender H. W. Química de suelos. Ed. IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas). -- Imp. Costa Rica, 1978.
- 9.- Gallardo Torres A. Estudio de la fracción arcilla de los suelos del valle de Guadalajara. Tesis de la Facultad de Agricultura, U. de G., 1983.
- 10.- Garavito Neira F. Propiedades químicas de los suelos. Ed. IGAC (Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"). - Imp. Colombia, 1979.
- 11.- Gaucher G. El suelo y sus características agronómicas. Tratado de pedagogía agrícola. Ed. Omega. Imp. España, 1971.
- 12.- Instituto de Geografía y Estadística. Análisis Geoeconómico Zapopano. Folleto No. 22. Ed. U. de Guadalajara. Imp. México, 1977.
- 13.- Little y Jackson. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed. Trillas. Imp. México, 1981.
- 14.- Mc. Lean E. O. Methods of soil Analysis, Aluminium - Agronomy. Imp. U.S.A., 1965.
- 15.- Meiwes, Khanna and Ulrich. Parameters for describing soil acidification and their relevance to the stability

- of forest ecosystems. Forest Ecology and Management No. 15. Imp. Netherlands, 1986.
- 16.- Millan, Turk and Foth. Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. CECOSA. Imp. México, 1972.
 - 17.- Mortuedt, Giordano y Lindsay. Micronutrientes en Agricultura. Ed. AGT editor S.A. Imp. México, 1983.
 - 18.- ONU/UNESCO. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Imp. Roma, 1980.
 - 19.- Ortiz Villanueva. Fertilidad de suelos. Ed. Univ.-Autónoma de Chapingo. Imp. México, 1977.
 - 20.- Ortiz Monasterio. Bases técnicas de plan de manejo. Imp. México, 1953.
 - 21.- Padilla Sánchez. Bases técnicas del sistema Zapopano. Imp. México, 1965.
 - 22.- Ruiz Bello y Ortega Torres. Prácticas de laboratorio de química de suelos. Ed. UACH Depto. de suelos. Imp. México, 1979.
 - 23.- Sánchez P. A. Suelos del trópico (características y manejo). Tr. E. Camacho. Ed. IICA. Imp. Costa Rica, 1981.

- 24.- _____ y Salinas J. G. Suelos ácidos. Estrategia para su manejo con bajos insumos en América -- Tropical. Imp. Colombia, 1983.
- 25.- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). Carta de climas. Esc. 1: 1 000 000. 1ra. edición. Im. - México,
- 26.- _____ Síntesis Geográfica de Jalisco. Imp. México, 1981.
- 27.- Tisdale and Nelson. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. UTEHA. Imp. U. S. A., 1982.
- 28.- Yúfera E. P. and Carrasco D. J. M. Química Agrícola. Ed. Alhambra. 1ra. edición 1973. Imp. España, 1981.



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

11. ANEXO I

COADRO 10. RESULTADOS DE LAS 50 MUESTRAS DE SUELO TOMADAS DEL VALLE DE ZAP.

No.	Rend.	pH	Mg ppm	K ppm	P ppm	Cu ppm	Zn ppm	Ca ppm	Fe ppm
1	1.746	5.72	25.20	4.65	0.060	4.700	30.60	3.45	69.4
2	0.203	5.07	40.32	5.38	0.332	1.490	13.20	2.30	54.5
3	1.054	5.80	53.17	5.63	0.121	0.695	2.17	2.30	52.4
4	0.618	5.92	71.28	7.81	0.798	2.480	2.11	5.75	102.0
5	2.602	5.90	35.28	5.63	0.580	4.370	36.70	1.15	61.9
6	2.600	6.50	71.28	20.19	0.282	0.912	2.51	3.45	68.2
7	3.233	5.10	34.20	6.14	0.127	0.372	1.11	2.30	43.4
9	1.550	5.45	26.64	6.96	0.477	1.990	7.47	2.30	60.6
9	1.923	5.70	35.28	9.96	1.370	5.570	26.20	3.45	144.0
10	0.963	4.80	17.28	3.54	0.389	0.507	2.17	3.45	44.8
11	1.416	5.30	20.52	3.97	0.307	0.541	4.76	3.20	46.0
12	5.273	5.20	24.84	5.88	0.551	1.860	6.78	1.15	39.9
13	0.981	5.13	22.68	13.04	1.332	0.236	7.47	1.15	38.4
14	1.606	4.50	34.20	9.01	0.303	0.770	6.05	2.30	109.0
15	2.511	5.92	85.32	8.10	0.535	1.250	6.05	2.30	106.0
16	2.044	5.50	34.20	5.63	0.536	3.000	7.88	2.30	79.5
17	2.424	4.92	20.52	3.97	0.365	0.233	1.15	3.45	35.4
18	1.955	4.65	24.84	3.13	0.387	1.730	10.20	2.30	75.8
19	1.750	5.30	34.20	4.65	0.951	1.100	7.34	2.30	88.4
20	1.468	6.67	71.28	45.23	1.582	4.130	31.60	6.05	215.0
21	2.584	5.70	53.28	10.61	0.181	0.100	1.25	2.30	29.3
22	2.605	5.90	28.44	6.41	0.972	2.400	18.00	2.30	72.0
23	0.758	5.15	47.52	9.97	0.568	0.600	5.77	3.45	144.0
24	5.330	5.20	38.16	6.69	0.951	2.530	7.88	4.60	152.0
25	3.737	4.90	35.46	14.51	0.188	0.567	5.03	5.75	222.0
26	3.635	5.80	84.60	14.51	0.275	1.950	20.20	2.30	95.8
27	2.419	4.64	22.86	4.42	0.299	0.563	1.63	2.30	84.1
28	1.357	5.40	31.68	7.52	0.250	1.260	4.82	3.45	77.1
29	1.854	5.05	53.28	13.40	0.215	0.159	8.07	4.60	124.0
30	0.734	5.00	26.28	3.13	0.145	0.166	2.21	5.75	73.6
31	2.311	5.30	26.28	7.81	0.535	0.563	7.94	2.30	74.8
32	7.188	5.15	24.84	6.96	0.163	0.497	2.99	2.30	79.4
33	1.448	4.65	35.46	5.63	0.430	1.920	7.81	4.60	138.0
34	0.342	4.70	16.56	4.19	0.170	0.232	0.74	2.30	52.3
35	8.595	5.90	52.20	5.13	0.658	0.166	1.48	2.30	26.6
36	6.806	4.50	14.88	3.75	0.616	0.298	0.85	2.30	63.1
37	3.638	5.00	22.68	5.63	0.254	0.861	2.18	1.15	61.9
38	5.428	5.30	24.64	6.14	0.237	0.795	5.08	2.30	44.4
39	0.924	5.05	21.60	5.88	0.743	1.420	7.03	2.30	58.4
40	3.885	4.75	19.44	5.38	0.980	1.920	7.68	2.30	77.1
41	2.000	5.30	29.52	3.75	0.345	0.629	1.56	2.30	44.4
42	0.637	4.58	21.60	5.88	0.473	0.364	1.24	1.15	67.8
43	1.254	5.20	26.64	3.13	0.233	0.066	1.09	1.15	36.9
44	1.089	4.75	29.16	7.24	0.367	0.099	1.24	1.15	67.8
45	4.173	5.45	30.96	8.70	0.644	0.166	2.54	2.30	59.6
46	1.368	5.22	24.84	2.74	0.465	0.099	1.20	1.15	52.6
47	1.906	4.30	20.52	4.42	0.227	0.265	1.76	1.15	74.8
48	3.521	4.72	19.80	3.32	0.376	0.132	1.63	1.15	60.7
49	2.266	5.05	52.31	6.14	0.217	0.364	3.97	3.45	21.0
50	2.511	5.15	28.44	2.74	0.251	0.166	0.79	2.30	22.0

CUADRO 11. VALORES DE PSAI, Ca/Al y Al DE LAS 50 MUESTRAS DE SUELO DEL VALLE DE ZAPOPAN

No. muestra	Al ppm	Al _e meq/100 gr suelo	PSAI	Ca/Al
1	0.030	0.083	0.83	41.57
2	0.151	0.419	5.14	5.49
3	0.035	0.097	1.48	23.71
4	0.025	0.069	0.40	83.33
5	0.026	0.072	2.11	15.97
6	0.015	0.042	0.48	82.14
7	0.205	0.569	9.38	4.04
8	0.104	0.289	4.90	7.96
9	0.025	0.069	0.62	50.00
10	0.369	1.025	10.50	3.37
11	0.248	0.689	7.66	4.64
12	0.087	0.242	3.51	4.75
13	0.127	0.353	3.35	3.26
14	0.793	1.369	10.90	1.63
15	0.021	0.058	0.57	39.65
16	0.220	0.611	6.44	3.78
17	0.208	0.578	5.50	5.97
18	0.277	0.768	10.74	2.99
19	0.108	0.300	4.42	7.67
20	0.014	0.039	0.18	206.41
21	0.011	0.031	0.58	74.19
22	0.019	0.053	0.77	43.40
23	0.129	0.358	3.74	9.64
24	0.072	0.200	1.61	23.00
25	0.112	0.311	3.38	18.44
26	0.010	0.278	3.19	8.27
27	0.544	1.511	21.55	1.52
28	0.640	1.778	20.48	1.94
29	0.180	0.448	4.96	10.36
30	0.446	1.239	8.29	4.64
31	0.156	0.433	8.69	5.31
32	0.108	0.300	5.17	7.67
33	0.032	0.089	0.89	51.69
34	0.416	1.156	17.81	1.99
35	0.010	0.278	3.44	8.27
36	0.251	0.697	8.37	8.27
37	0.215	0.597	8.35	1.93
38	0.061	0.169	1.87	13.61
39	0.112	0.311	4.47	7.40
40	0.322	0.894	11.97	2.57
41	0.312	0.867	11.79	2.65
42	0.584	1.622	22.78	0.71
43	0.292	0.811	13.40	1.42
44	0.529	1.469	20.81	0.78
45	0.264	0.733	9.61	3.14
46	0.088	0.244	4.48	4.71
47	0.602	1.672	23.55	0.69
48	0.400	1.111	20.51	1.04
49	0.231	0.642	7.46	5.37
50	0.170	0.472	6.87	4.87

* Al meq/100 gr suelo = Al ppm x 2.78

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA



CUADRO 12. VALORES DE pH DE AGUA DE LLUVIAS REGISTRADAS
 EN 1987 EN LA CIUDAD DE GUADALAJARA
 (INSTITUTO DE ASTRONOMIA Y METEOROLOGIA)

MES	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
D	4.7	5.0	5.1	5.2	5.9
I	4.9	5.1	5.9	5.9	5.3
A	5.2	5.7	5.7	5.8	5.8
S		5.1	4.7	5.8	4.9
		4.9	5.8	5.9	5.8
D		5.8	6.1	5.0	5.4
E		5.2	5.8	5.1	4.9
		5.3	5.2	5.8	5.4
L		5.6	5.6	5.3	5.8
L		5.7	6.1	5.6	
U		5.6	5.2	5.6	
V			5.1	5.3	
I			5.7	5.1	
A			5.9	5.2	
			4.9	5.8	
			5.0	5.8	
pH			5.7	4.9	
			4.8	5.7	
			5.2	5.9	
				5.9	



ANEXO II
(gráficas)

CORRELACIONES

