

20
2ej



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ ZARAGOZA ”
U. N. A. M.

**CONTRIBUCION RELATIVA DE LA MATERIA ORGANICA Y
ARCILLA A LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE
SUELOS DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC, OAXACA.**

T E S I S
Que para obtener el Título de
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
p r e s e n t a
RICELA HERNANDEZ LOPEZ



México, D. F.

1990

**TESIS CON
FALLA DE ORDEN**



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 está 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.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. FUNDAMENTACION DEL TEMA	2
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
IV. OBJETIVOS	13
V. HIPOTESIS	14
VI. MATERIALES Y METODOS	15
VII. RESULTADOS	26
VIII. DISCUSION	41
IX. CONCLUSIONES	45
X. RECOMENDACIONES	46
XI. BIBLIOGRAFIA	47
XII. APENDICE	50

I INTRODUCCION

La química de suelos puede considerarse como una parte elemental de las ciencias del suelo. Con base en la información sobre la composición, las propiedades y las reacciones químicas que ocurren en los suelos, se pueden aclarar problemas relacionados con la fertilidad y la nutrición vegetal; los resultados de los análisis químicos permiten formular las recomendaciones de fertilización adecuadas, clasificar los suelos en sus diferentes grupos y servir de base en la planificación del desarrollo agrícola, ganadero y forestal.

En el presente trabajo se estudia la relación que existe entre los coloides del suelo (arcilla y materia orgánica) con respecto a la capacidad de intercambio catiónico total de los suelos tropicales del Istmo de Tehuantepec, específicamente los municipios de Chanuites, Zanatepec y Tapanatepec en el Estado de Oaxaca.

El estudio de esta propiedad está encaminado a conocer los mecanismos que determinan la forma en que los nutrientes de estos suelos son retenidos y, en consecuencia, tomar medidas adecuadas para conservar estos nutrientes e incrementar sus niveles de fertilidad.

II FUNDAMENTACION DEL TEMA

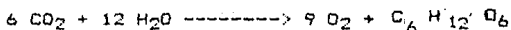
Los suelos son el medio en el cual los cultivos crecen para alimentar y vestir al mundo. Entender la fertilidad de los suelos es entender una necesidad básica de la producción de los cultivos (3). Esto es de suma importancia para regiones como el Estado de Oaxaca, donde la productividad de los suelos es baja, ya que los rendimientos de los cultivos básicos como maíz y frijol son menores al promedio nacional (19). En esta situación influyen factores ecológicos, como el escaso conocimiento de las propiedades de los suelos así como la variabilidad de los mismos, los que impiden el desarrollo de tecnologías adecuadas para las diferentes condiciones edáficas (15).

La fertilidad del suelo es vital para un suelo productivo. Para comprender la productividad del suelo, se deben reconocer las relaciones suelo-planta existentes. Algunos de los factores externos que controlan el crecimiento de las plantas son: aire, calor (temperatura), luz, soporte mecánico, nutrientes y agua. La planta depende del suelo en forma total o parcial para el suministro de estos factores, con excepción de la luz. Cada uno de ellos afecta en forma directa el crecimiento de la planta. (14).

Debido al hecho de que tanto el agua como el aire ocupan los espacios porosos del suelo, aquellos factores que afectan

las relaciones hidricas necesariamente influirán sobre el aire del suelo. A su vez los cambios en la humedad afectaran la temperatura del suelo. La disponibilidad de los nutrientes está afectada por el balance entre agua y suelo y la temperatura de éste. por otro lado se conocen 16 elementos químicos esenciales para el crecimiento de las plantas. Estos se dividen en: minerales y no minerales.

Los nutrientes no minerales son: Carbono, Hidrogeno y Oxigeno. Estos nutrientes se encuentran en la atmósfera y en el agua y son utilizados en la fotosíntesis. en la siguiente forma:



Los productos de la fotosíntesis son los responsables de la mayor parte del aumento en el crecimiento de las plantas. Si existen cantidades insuficientes de bioxido de carbono, agua o luz se reduce el crecimiento.

Los nutrientes minerales son trece y provienen del suelo, se dividen en tres grupos: primarios, secundarios y micronutrientes.

PRIMARIOS	SECUNDARIOS	MICRONUTRIENTES	
Nitrógeno (N)	Calcio (Ca)	Boro (B)	Hierro (Fe)
Fósforo (P)	Magnesio (Mg)	Cloro (Cl)	Manganeso (Mn)
Potasio (K)	Azufre (S)	Cobre (Cu)	Zinc (Zn)

Los nutrientes minerales pueden encontrarse en el suelo en tres formas:

- Formando parte de los minerales primarios de las rocas. En esta forma no son directamente asimilables para las plantas, sino hasta que pasan a la forma soluble a través de la intemperización

- En la solución del suelo se encuentran en forma iónica o en sustancias de bajo peso molecular, pero su concentración es muy baja.

- Como cationes adsorbidos a los coloides del suelo, arcilla y materia orgánica, ésta constituye una de las principales formas disponibles para las plantas (3 y 4).

Intercambio catiónico y nutrición vegetal: La concentración de iones libres en la disolución del suelo es generalmente baja, estando la mayor parte de los cationes adsorbidos por los lugares de carga negativa de las micelas de arcilla y la materia orgánica del suelo. Los aniones, como el nitrato y el sulfato generalmente aparecen libres en la disolución del suelo, mientras que el fosfato del suelo está firmemente unido a las partículas del suelo y se encuentra en muy bajas concentraciones en la disolución de este. Los aniones son adsorbidos por las plantas casi completamente de la disolución del suelo. Los cationes pueden ser intercambiados entre las raíces y las partículas del suelo mediante el

proceso de intercambio por contacto, éstos pueden ser transferidos de los coloides arcillosos a las raíces sin aparecer como iones libres en la disolución del suelo. (22, 24). Esto es el resultado de la oscilación de los iones adsorbidos en un reducido volumen de espacio. Cuando el volumen de oscilación de un ión coincide en parte con el de otro ión, el intercambio de iones puede ocurrir. (Fig. 1).

Relación entre intercambio catiónico y coloides del suelo:

A medida que los suelos se forman durante el proceso de intemperización, algunos minerales y los restos orgánicos se dividen en partículas extremadamente pequeñas. Los cambios químicos que se producen más tarde reducen aún más el tamaño de estas partículas. A estas se les llama coloides. Los coloides minerales de las arcillas tienen estructura laminar y naturaleza cristalina (18). En la mayoría de los suelos, los coloides de arcilla son más numerosos que los coloides orgánicos. Los coloides son los responsables principales de la reactividad química de los suelos, tanto los coloides orgánicos como los de arcilla tienen una carga negativa, desarrollada durante el proceso de formación. Esto significa que pueden atraer y retener partículas con carga positiva. (Fig. 2).

La fuerza de la carga positiva de un catión varía, aumenta con su radio iónico y disminuye con su grado de hidratación,

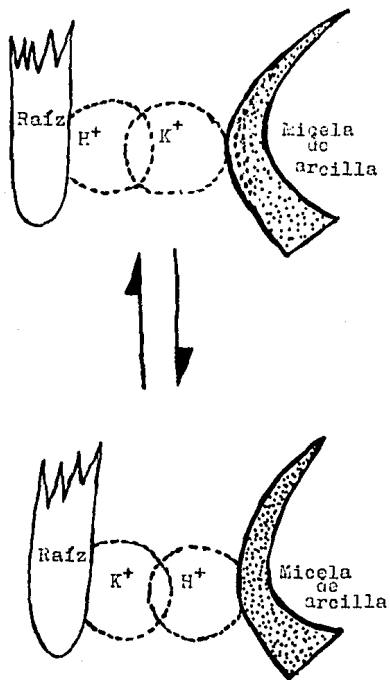
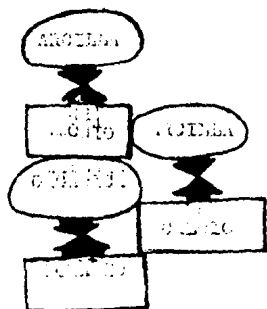


Fig. 1. Diagrama que representa la hipótesis de intercambio por contacto.

LOS POLOS
OPUESTOS
SE ATRAEN



LOS POLOS
IDENTICOS
SE REPELEN

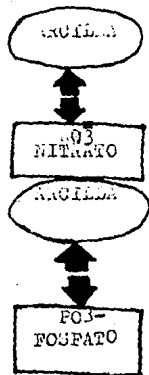
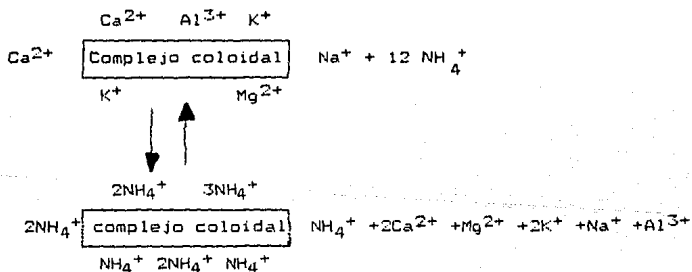


Fig. 2. Las bases son retenidas en partículas de arcilla y materia orgánica por atracción magnética. Los polos opuestos se atraen y los idénticos se repelen. Esto es característico de los imanes. Es el mismo principio que retiene las bases (cationes con carga positiva) a las arcillas y partículas de materia orgánica.

esto permite que un catión reemplace a otros en las partículas del suelo con carga negativa que son: arcilla y materia orgánica. Los cationes cambiabiles del suelo son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , H^+ y NH_4^+ . (8).

La capacidad de intercambio catiónico y su importancia en la nutrición vegetal.

Se entiende por intercambio catiónico del suelo a los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas adsorben iones de la fase acuosa, desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas fases (5). Es un proceso reversible y estequiométrico como se muestra en la siguientes ecuación:



La capacidad de intercambio catiónico total (CICT), se refiere al número total de cationes de intercambio que un suelo puede retener (14) mientras más alta sea la CICT, mayor será la cantidad de cationes que pueda retener.

La CICT se expresa en términos de miliequivalentes por cien gramos de suelo y se escribe como meq/100 g. (17). Como ya se mencionó, la CICT es de importancia agronómica porque constituye un mecanismo mediante el cual retiene grandes cantidades de cationes, incluyendo los agregados como fertilizantes, evitando las pérdidas por lixiviación (3).

Estimación de la capacidad de intercambio catiónico total.

Los suelos difieren en sus capacidades para retener cationes. La CICT depende de las cantidades, clases de arcilla y materia orgánica presentes. Por ejemplo, un suelo con alto contenido de arcilla, puede retener más cationes intercambiables que un suelo bajo en arcillas. También la CICT aumenta a medida que se incrementa la materia orgánica.

Los minerales de arcilla presentan generalmente una gama de valores de CICT entre 10 y 150 meq/100 g. La materia orgánica bien descompuesta, conocida como humus, oscila entre 200 y 400 meq/100 g. (10).

Con base en el contenido de arcilla y de materia orgánica en el suelo, algunos investigadores han elaborado modelos estadísticos entre estas dos variables y la CICT. Las ecuaciones matemáticas obtenidas permiten interpretar la contribución de la fracción orgánica y mineral a esta propiedad, particularmente resultan muy apropiadas las

correlaciones múltiples, como las obtenidas para los suelos de Florida (25), donde se obtuvo el siguiente modelo:

$$Y_{\text{CICT}} = 0.68 + 1.73 X_1 + 0.71 X_2$$

donde:

X_1 = porcentaje de arcilla

X_2 = porcentaje de materia orgánica

para: $n = 83$ y $R^2 = 0.82$

Dada la alta significancia estadística, esta fórmula permite estimar la CICT. Esta ecuación es sólo extrapolable para las condiciones ecológicas de Florida, que presenta un clima templado y precipitaciones pluviales moderadas, en los cuales los niveles de materia orgánica son altos y por lo tanto los valores de CICT son generalmente más elevados. (16, 18). Sin embargo, en una región tropical, como la zona de estudio, donde las altas temperaturas y las intensas lluvias descomponen rápidamente la materia orgánica y originan tipos de arcilla muy diferentes, y por lo tanto, los valores de CICT diferirán bastante de los obtenidos en zonas templadas. Por esta razón se considera necesario obtener un modelo apropiado a las condiciones de los suelos de la región de estudio.

III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La capacidad de intercambio cationico total, CICT, es importante en la nutrición mineral. El conocimiento de esta propiedad permite a los agrónomos planificar actividades tales como la fertilización y encalado. Por ejemplo, los suelos con bajo nivel de CICT retienen cationes sólo en pequeñas cantidades y por lo tanto, requerirán de mayores dosis y aplicaciones más frecuentes de fertilizantes (16).

La CICT depende del contenido y de los coloides del suelo, arcilla y materia orgánica (4). Por lo tanto, es posible estimar la CICT mediante el análisis de la asociación que existe entre estas variables.

Este análisis tiene dos aspectos de interés, por un lado permitirá conocer cual de estas dos variables se encuentra más correlacionada con la CICT bajo las condiciones ecológicas del área de estudio. Por otra parte, permitirá estimar con mayor rapidez y menor costo la CICT, ya que las técnicas de análisis para determinar la materia orgánica y la arcilla requieren de menos tiempo y reactivos que los necesarios para la determinación de CICT.

Con el objeto de lograr este propósito es necesario realizar los análisis de CICT, porcentaje de arcillas y materia orgánica y mediante análisis de regresión analizar la

correlación que existe entre la CICT, con cada una de las variables por separado y ambas, para posteriormente seleccionar el modelo más adecuado.

IV OBJETIVOS

Objetivo general:

- 1.- Conocer la relación que existe entre la materia orgánica y arcilla sobre la capacidad de intercambio catiónico total (CICT) de suelos tropicales del Istmo de Tehuantepec, Oax.

Objetivos específicos:

- 1.- Determinar el porcentaje de arcilla, porcentaje de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico total (CICT) de suelos tropicales del Istmo de Tehuantepec Oax.
- 2.- Obtener un modelo estadístico que permite estimar la capacidad de intercambio catiónico total (CICT), considerando como variable de predicción la materia orgánica y/o arcilla.

V HIPOTESIS

Con base en las propiedades electrostáticas de los coloides del suelo, se espera que la capacidad de intercambio catiónico total de los suelos muestreados, se incremente en forma proporcional con el aumento de materia orgánica y la arcilla de estos suelos.

VI MATERIALES Y METODOS

1. Colecta de Suelos.

La zona de estudio incluye parte de los municipios de Chahuites, Tapanatepec y Zanatepec en el Estado de Oaxaca. Abarca una superficie aproximada de 5000 Has.

Se definió a las unidades del muestreo como sitios cuadrados de una hectárea de superficie. Sobre la carta topográfica de la zona se sobrepuso una cuadrícula en la que cada cuadro representaba una hectárea. Se les asignó una numeración sucesiva del 1 al 5000. Utilizando una tabla de números aleatorios se seleccionaron 25 unidades para un primer muestreo simple aleatorio.

Este primer muestreo tuvo por objeto estimar la varianza de la CICT y posteriormente calcular el tamaño de muestra definitivo. Las hectáreas seleccionadas fueron identificadas en campo auxiliándose de fotografías aéreas. Dentro de cada hectárea se tomaron 40 submuestras en zig-zag. Este método se seleccionó ya que cubre homogéneamente el terreno. (1).

De estudios anteriores en la zona, se considera que 40 submuestras son representativas, con un nivel de confianza del 95% y un nivel de precisión del 10% para obtener un valor representativo de la fertilidad en una hectárea (1).

Cada muestra fué tomada a una profundidad de 0-30 cms, dado que es la zona de profundidad radicular. Posteriormente, la submuestras se mezclaron para obtener una muestra compuesta de 2 kg de peso aproximadamente.

El tamaño de muestra definitivo se calculó con la fórmula:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2}$$

donde n = tamaño de muestra

t = Valor de t de student con 24 grados de libertad y un nivel de significancia del 5%. (t=2.064).

E = Nivel de precisión deseado para la media, en este caso, ± 1.5 Meq/100 g.

De acuerdo con la varianza obtenida en el primer muestreo $S^2 = 43.03$, el tamaño definitivo de la muestra fue de 82 muestras compuestas, realizándose un segundo muestreo siguiendo el mismo procedimiento, tomando 57 muestras más, para completar 82 muestras requeridas.

2. Preparación de las muestras para su análisis.

- Las muestras de campo se extiendieron en bandejas.
- Se secaron al aire.
- Se mezclaron completamente.
- Se aplanaron con rodillo de madera, hasta despedazar los terrones. Se descartan los fragmentos de roca mayores de 3/4 pulgadas de diámetro.

- Se pasaron por tamices de malla 200 (2 mm de diametro) se mezcla bien y se continua aplanando la tierra con rodillo de madera.

- Las muestras tamizadas se almacenan en botes de carton o en bolsas de polietileno, para proteger las muestras del aire, humedad y del polvo.

3. Análisis Químicos.

3.1. Determinación de textura.

Es el porcentaje de limo, arcilla y arena que existen en el suelo. (ver apéndice)

Fundamento:

Se refiere a la cantidad de partículas de diferentes tamaños que se encuentran en el suelo.

La separacion de las particulas minerales se logra eliminando las sustancias cementantes que las unen (materia orgánica y los carbonatos). Para completar la separacion se hace una suspensión del suelo en agua y se determina la proporcion de particulas de cierto tamaño por su velocidad de caída con base en la ley de Stokes (20).

3.1.1. Procedimiento.

- Se colocaron 60 g. de suelo en un vaso de precipitado de 500 ml.

- Se añadieron 50 ml de agua destilada y 5 ml de agua oxigenada, se tapó con un vidrio de reloj, se repitió el tratamiento con agua oxigenada en frío hasta que no se observó más espuma. se calentó el vaso cerca de 90°C en una parrilla, se añadieron 5 ml. de agua oxigenada a intervalos de 45 min., hasta que no se observó más materia orgánica.
- Se colocaron 50 g. de la muestra de suelo en un vaso agitador eléctrico.
- Se agregaron los defloculantes (5 ml de silicato de sodio y 5 ml de oxalato de sodio) más 100 ml de agua.
- La mezcla se dejó reposar durante 20 min. en el caso de arcillas y 5-10 min. en arenas y migajones arenosos.
- Se pasó la mezcla a una probeta de Bouyoucos, colocando dentro el Hidrómetro y se aforó con agua a 1130 ml.
- La mezcla se agitó durante 1 min. por sucesivas inversiones y se leyó directamente en la escala (g/lt) del Hidrómetro a los 40 seg. (1era. lectura). Se anotó al mismo tiempo la temperatura de la solución con el fin de corregir la dilatación debida a la temperatura ambiente.
- Se anotó la primera lectura del Hidrómetro, con la corrección por temperatura, que es de 0.11 por cada grado que difiera de 20°C, sumando o restando, según el caso.
- La arena se sedimentó a los 40 seg.
- La segunda lectura corregida por temperatura se realizó a las 2 horas y representa el porcentaje de arcilla en

suspensión.

- Se supone que todo el limo se ha sedimentado a las 2 horas.

3.2. Determinación de Materia Orgánica por vía húmeda.

La materia orgánica está constituida por residuos animales y vegetales en diferentes grados de descomposición. El humus se refiere a la fracción de materia orgánica que ha sufrido una descomposición intensiva y que es bastante resistente a cualquier alteración posterior.

Fundamento:

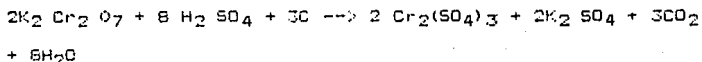
Se basa en la oxidación de constituyentes que se encuentran en cantidad relativamente constante como el carbono y nitrógeno.

La oxidación del carbono puede llevarse a cabo mediante combustión húmeda.

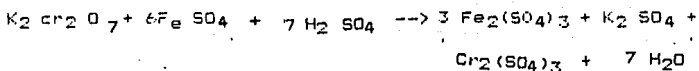
Walkley y Black, provocaron la oxidación de la materia orgánica sólo con el calor de reacción que se genera al mezclar el ácido sulfúrico concentrado y la solución diluida de dicromato de Potasio.

Con este procedimiento se recupera del 70 al 84% del carbono orgánico total y sólo detecta una pequeña fracción del carbono elemental o inorgánico.

Al tratar la muestra con dicromato de potasio en exceso, éste reacciona parcialmente con la materia orgánica y lo que queda sin reaccionar se titula con una sustancia reductora, en este caso el sulfato ferroso, utilizando la difenilamina como indicador de oxido-reducción (1).



• Oxidación de la materia orgánica por el dicromato de potasio.



• Reducción del dicromato de potasio en exceso por el sulfato ferroso.

Procedimiento.

- Se pesaron 0.5 g (o menos si es rica en materia orgánica) de muestra tamizada y se transfiere a un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- Se añadieron 5 ml de dicromato de Potasio 1N y 7.5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Agitando vigorosamente, dejando reposar 30 min.
- Luego se añadió 100 ml de ácido fosforico al 95% y 0.5 ml de difenil amina al 1%. Titular con el sulfato ferroso 0.5 N gota a gota hasta que vire de violeta oscuro a verde.
- Si más de 4 ml de dicromato son reducidos se repite la operación usando menos suelo.

3.3. Determinación de capacidad de intercambio catiónico total.

Se entiende por intercambio catiónico a los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa, desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros iones y establecen un equilibrio entre ambas fases. Estos fenómenos se deben a las propiedades específicas del complejo coloidal del suelo que tiene cargas electrostáticas y una gran superficie. La materia orgánica, las arcillas y los hidróxidos funcionan como "cambiadores".

Fundamento:

Se basa en la naturaleza misma de cada catión, la concentración de cada uno de ellos, en relación a los otros cationes existentes y el pH de la solución del suelo.

Se elige un catión con características deseables según el suelo que se vaya a analizar, el catión elegido se aplica al suelo en soluciones concentradas, cuyo pH ha sido ajustado con una solución amortiguadora.

Los cationes cambiables influyen en la estructura, actividad biológica, el régimen hídrico y gaseoso, la reacción, los procesos genéticos del suelo y en su formación.

El procedimiento involucra cuatro etapas fundamentales:

- a) Desplazar los cationes totales que se encuentran adsorbidos al complejo de intercambio, con un exceso del catión reemplazante.
- b) Lavar el exceso del catión desplazante, con una solución no polar.
- c) Desplazar el catión que queda adsorbido al complejo de intercambio con otro catión.
- d) Determinar el catión usado como reemplazante.

Los cationes intercambiables son reemplazados con acetato de amonio, calcio, bario o sodio y la cantidad del catión adsorbido es determinada por los medios apropiados.

Este método, (1), utiliza acetato de amonio como agente intercambiador, siendo el amonio el catión reemplazante. El exceso de amonio que queda después de la percolación es lavado con etanol de tal manera que, en el complejo de intercambio quede únicamente el amonio adsorbido. Este a su vez reemplazado por sodio que se agrega al suelo como cloruro de sodio. El amonio desprendido es determinado por titulación

3.3.1. Procedimiento.

- Las muestras para esta determinación deben ser de 4g de suelo de textura mediana ó fina y 6 g para textura gruesa. (secado de aire).

- Se colocó la muestra en un tubo de ensaye de 25 X 100 mm. de base redonda.
- Se agregaron 25 ml. de alcohol y se dejó reposar por 30 min.
- Se centrifugó y decantó, agregándose 25 ml. de la solución de acetato de amonio 1N.
- Se agitó y dejó reposar 30 min..
- Se centrifugó a 1000 rpm, hasta que el líquido quedó claro, generalmente necesita 5 min.
- Se decantó el líquido filtrándose para determinaciones de Ca^{++} Mg^{++} , Na^{+} y K^{+} , el suelo que quedó en el tubo de centrifuga se lavó 4 veces con 35 ml. de alcohol etílico al 95%.
- Se transfirió a un matraz Kjeldhal agregándose 40 ml de solución de cloruro de sodio al 10% y 0.5g de magnesia calcinada y 150 ml de agua destilada.
- Se destiló, recibiendo el destilado en 40 ml de ácido bórico al 4%, usándose indicador mixto (0.1 gr. de rojo de metilo y 0.5 g de verde de bromocresol) para la titulación con HCl 0.1N.

4. Análisis Estadístico.

Los resultados obtenidos de las muestras analizadas en laboratorio, fueron procesados en el centro de cómputo del Instituto Tecnológico Agropecuario, utilizando una microcomputadora y los paquetes lotus 1-2-3 y statgraph, los datos fueron analizados utilizando las técnicas siguientes:

4.1. Estadística Descriptiva.

Los datos fueron ordenados en clases, obteniendo el valor medio de clase, frecuencia relativa, frecuencia acumulada, además de anotar el número de observaciones, rango, media y desviación estándar. Lo anterior se calculó para cada una de las tres variables.

4.2 Análisis de Regresión.

Se refiere al análisis estadístico que resulta de aplicar las técnicas para construir y evaluar modelos que describan la relación entre variables así como para formular inferencias basadas en los modelos obtenidos. (9).

En general, el análisis de regresión permite estudiar la influencia de una o más variables que llamamos independientes sobre otra que llamamos dependiente. Si se incluyen dos o más variables independientes se tiene un modelo de regresión múltiple.

En el presente estudio se probaron tres regresiones lineales simples:

$$\text{CICT} = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

$$\text{CICT} = \beta_0 + \beta_1 X_2$$

$$\text{CICT} = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1$$

tres regresiones múltiples:

$$CICT = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

$$CICT = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_3$$

$$CICT = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 + \beta_3 X_4$$

donde β_0 , β_1 y β_2 son los coeficientes de regresión

X_1 = porcentaje de arcilla

X_2 = porcentaje de materia orgánica

$$X_3 = X_1^2$$

$$X_4 = X_1 \text{ y } X_2$$

VII RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos, ordenados en tablas y gráficas en el orden siguiente:

Los resultados de los análisis de suelo se presentan en las tablas 1, 2 y 3 para arcilla, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico total, respectivamente.

En estas tablas los datos se encuentran agrupados en clases, indicando la frecuencia relativa y acumulada por cada clase, se incluyen también los parámetros de estadística descriptiva como son: número de observaciones, rango, media y desviación estándar.

Los coeficientes, y el análisis de varianza para los seis modelos probados se muestran en el siguiente orden:

M O D E L O	TABLA
1.- $CICT = \beta_0 + \beta_1 X_2$	4
2.- $CICT = \beta_0 + \beta_1 X_1$	5
3.- $CICT = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1$	6
4.- $CICT = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$	7
5.- $CICT = \beta_0 + \beta_1 X_1 - \beta_2 X_3$	8
6.- $CICT = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_4$	9

Finalmente se incluyen los diagramas de dispersión para los modelos de regresión 1,2,3 y 5. Así como los valores de la R^2 y de los CME ordenados en el cuadro 1.

TABLA 1. DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS, MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR PARA EL PORCENTAJE DE ARCILLA DE LOS SUELOS MUESTREADOS.

CLASE	VALOR MEDIO DE CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA ACUMULADA ABSOLUTA	FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA
(0.5.00]	2.50	8	0.0976	8	0.0976
(5.00, 10.00]	7.50	17	0.2073	25	0.3049
(10.00, 15.00]	12.50	12	0.1463	37	0.4512
(15.00, 20.00]	17.50	10	0.1220	47	0.5732
(20.00, 25.00]	22.50	6	0.0732	53	0.6463
(25.00, 30.00]	27.50	6	0.0732	59	0.7195
(30.00, 35.00]	32.50	2	0.0244	61	0.7439
(35.00, 40.00]	37.50	6	0.0732	67	0.8171
(40.00, 45.00]	42.50	5	0.0610	72	0.8780
(45.00, 50.00]	47.50	3	0.0366	75	0.9146
(50.00, 55.00]	52.50	1	0.0122	76	0.9268
(55.00, 60.00]	57.50	0	0.0000	76	0.9268
(60.00, 70.00]	62.50	3	0.0366	79	0.9634
(65.00, 70.00]	67.50	3	0.0366	82	1.0000

MEDIA = 22.78 DESVIACION ESTANDAR = 17.6630

VALOR MINIMO = 2.0 MAXIMO = 68 RANGO = 66.0

NUMERO DE OBSERVACIONES = 82

TABLA 2. DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS, MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR PARA EL PORCENTAJE DE MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS MUESTREADOS.

CLASE	VALOR MEDIO DE CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA ACUMULADA ABSOLUTA	FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA
(0. 1.0]	0.5	43	0.5245	43	0.5245
(1.0, 2.0]	1.5	12	0.1463	55	0.6706
(2.0, 3.0]	2.5	12	0.1463	67	0.8169
(3.0, 4.0]	3.5	8	0.0975	75	0.9145
(4.0, 5.0]	4.5	0	0.0000	75	0.9145
(5.0, 6.0]	5.5	1	0.0122	76	0.9267
(6.0, 7.0]	6.5	2	0.0244	78	0.9511
(7.0, 8.0]	7.5	2	0.0244	80	0.9755
(8.0, 9.0]	8.5	0	0.0000	80	0.9755
(9.0, 10.0]	9.5	0	0.0000	80	0.9755
(10.0, 11.0]	10.5	1	0.1022	81	0.9877
(11.0, 12.0]	11.5	0	0.0000	81	0.9877
(12.0, 13.0]	12.5	0	0.0000	81	0.9877
(13.0, 14.0]	13.5	1	0.0122	82	1.0000

NUMERO DE OBSERVACIONES = 82

MEDIA = 1.8902

DESVIACION ESTANDAR = 2.3241

VALOR MINIMO = 0.1

MAXIMO 13.4

RANGO = 13.3

TABLA 3. DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS, MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR PARA LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL DE LOS SUELOS MUESTREADOS.
(Miliequivalente/100g. de suelo)

CLASE	VALOR MEDIO DE CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA ACUMULADA ABSOLUTA	FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA
(0.00, 5.00]	2.5	12	0.1464	12	0.1464
(5.00, 10.00]	7.5	27	0.3293	39	0.4757
(10.00, 15.00]	12.5	15	0.1829	54	0.6586
(15.00, 20.00]	17.5	13	0.1585	67	0.8171
(20.00, 25.00]	22.5	15	0.1829	82	1.0000

NUMERO DE OBSERVACIONES = 82

MEDIA = 12.1610

DESVIACION ESTANDAR = 6.6261

VALOR MINIMO = 0.2

MAXIMO = 25.0

RANGO = 24.8

TABLA 4. PARAMETROS Y ANALISIS DE VARIANZA DE LA REGRESION ENTRE CICT (Y₁) CON EL PORCENTAJE DE MATERIA ORGANICA (X₂).

$$\text{MODELO : CICT} = B_0 + B_1 X_2$$

PARAMETRO	ESTIMACION	ERROR ESTANDAR	VALOR T	NIVEL SIGNIFICANCIA
INTERSECCION	10.566	0.8979	11.7685	0
PENDIENTE	0.861	0.3024	2.8461	5.6197×10^{-3}

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE	SUMA DE CUADROS	G.L.	CUADRO MEDIO	F _c
MODELO	326.9865	1	326.9865	8.1004**
ERROR	3229.3286	80	40.3666	
TOTAL	3556.3151	81		

COEFICIENTE DE DETERMINACION : 0.0919

ERROR ESTANDAR DE LA ESTIMACION : 6.3534

** NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 1%

TABLA 5. PARAMETROS Y ANALISIS DE VARIANZA DE LA REGRESION ENTRE (Y₁) CON EL PORCENTAJE DE ARCILLA (X₁).

$$\text{MODELO : CICT} = B_0 + B_1 X_1$$

PARAMETRO	ESTIMACION	ERROR ESTANDAR	VALOR T	NIVEL SIGNIFICANCIA
INTERSECCION	5.6778	0.7859	7.2246	2.62 X 10 ⁻¹⁰
PENDIENTE	0.2846	0.0273	10.4146	2.22 X 10 ⁻¹⁶

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE	SUMA DE CUADROS	G.L.	CUADRO MEDIO	F _c
REGRESION	2046.7121	1	2046.7121	108.4636 **
ERROR	1509.6031	80	18.8700	
TOTAL	3556.3151	81		

COEFICIENTE DE DETERMINACION = 0.5755

ERROR ESTANDAR DE LA ESTIMACION : 4.3440

** NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 1%

TABLA 6. PARAMETROS Y ANALISIS DE VARIANZA DE LA REGRESION LINEAL DE CICT (Y1) CON ln DE X₁
(% DE ARCILLA)

$$\text{MODELO: CICT} = B_0 + B_1 \ln X_1$$

PARAMETRO	ESTIMACION	ERROR ESTANDAR	VALOR T	NIVEL SIGNIFICANCIA
INTERSECCION	- 5.3007	1.5112	- 3.5074	7.44x10 ⁻⁴
PENDIENTE	6.2347	0.5164	12.0737	0

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE	SUMA DE CUADROS	G.L.	CUADRO MEDIO	F _c
MODELO	2296.1848	1	2296.1848	145.7744 **
ERROR	1260.1304	80	15.7516	
TOTAL	3556.3151	81		

COEFICIENTE DE DETERMINACION: 0.6457

ERROR ESTANDAR DE LA ESTIMACION: 3.9683

** NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 1 %

TABLA 7. PARAMETROS Y ANALISIS DE VARIANZA DE LA REGRESION ENTRE CICT (Y₁) CON PORCENTAJE DE ARCILLA (X₁) Y MATERIA ORGANICA (X₂)

$$\text{MODELO : CICT} = B_0 + B_1 (X_1) + B_2 (X_2)$$

VARIABLE	COEFICIENTE	ERROR ESTANDAR	VALOR T	NIVEL SIGNIFICANCIA
CONSTANTE	4.4224	0.7925	5.5804	0.0000
X ₁	0.2791	0.0252	11.0698	0.0000
X ₂	0.7443	0.1908	3.9005	0.0002

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE	SUMA DE CUADROS	B.L.	CUADRO MEDIO	F _c
REGRESION	2 290.4852	2	1145.2426	71.4742 **
ERROR	1 265.8299	79	16.0232	
TOTAL	3 556.3151	81		

COEFICIENTE DE DETERMINACION = 0.6441

ERROR ESTANDAR DE LA ESTIMACION: 4.0029

** NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 1%

TABLA B. PARAMETROS Y ANALISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESION ENTRE CICT (Y₁), PORCENTAJE DE ARCILLA (X₁) Y X₃, (X₁)².

$$\text{MODELO CICT} = B_0 + B_1 (X_1) - B_2 (X_1)^2.$$

VARIABLE	COEFICIENTE	ERROR ESTANDAR	VALDR T	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
CONSTANTE	2.3503	1.1042	2.1284	0.0363
X1	0.6322	0.0908	6.9594	0.0000
X3	- 0.0056	0.0014	- 3.9816	0.0001

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE	SUMA DE CUADROS	G.L.	CUADRO MEDIO	F _c
REGRESION	2299.0214	2	1149.5107	72.2276 **
ERROR	1257.2937	79	15.9151	
TOTAL	3556.3151	81		

COEFICIENTE DE DETERMINACION = 0.6465

ERROR ESTANDAR DE LA ESTIMACION : 3.9894

** NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 1%

TABLA 9. PARAMETROS Y ANALISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESION MULTIPLE ENTRE CICT (Y1), PORCENTAJE DE ARCILLA (X₁), PORCENTAJE DE MATERIA ORGANICA (X₂) Y X4 (X₁, X₂)

$$\text{MODELO : CICT} = B_0 + B_1 (X_1) + B_2 (X_2) + B_3 (X_4)$$

VARIABLE	COEFICIENTE	ERROR ESTANDAR	VALOR T	NIVEL SIGNIFICANCIA
CONSTANTE	3.8961	0.9383	4.1524	0.0001
X ₁	0.3006	0.0325	9.2601	0.0000
X ₂	1.1913	0.4678	2.5465	0.0128
X ₄	- 0.0178	0.01697	- 1.0463	0.2985

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESION LINEAL

FUENTE	SUMA DE CUADROS	G.L.	CUADRO MEDIO	F _c
MODELO	2308.0053	2	769.3351	48.0715 **
ERROR	1248.3099	79	16.0040	
TOTAL	3556.3151	81		

COEFICIENTE DE DETERMINACION = 0.6490

ERROR ESTANDAR DE LA ESTIMACION : 4.0005

** NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 1%

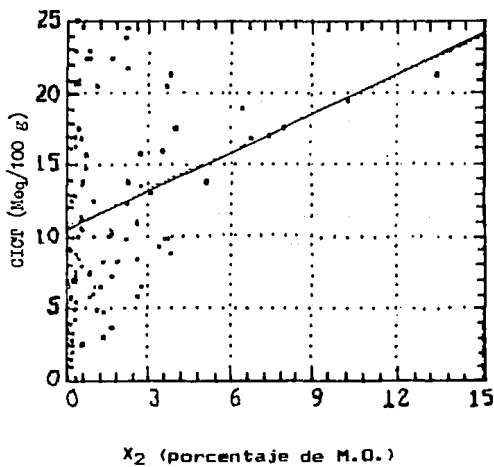


Fig. 3 Diagrama de dispersión y recta de ajuste
 para el modelo $CICT = 10.5661 + 0.8610 X_2$
 $R^2 = 0.0919$ CME = 40.3667

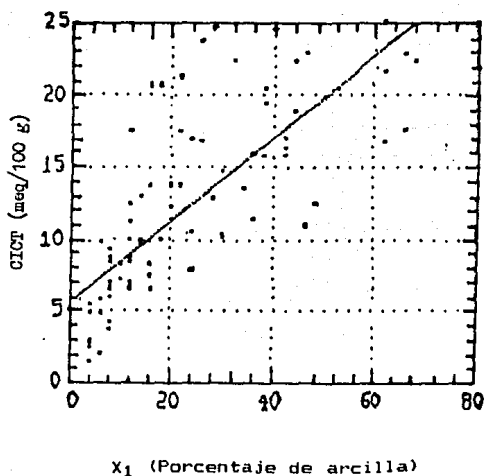


Fig. 4 Diagrama de dispersión y recta de ajuste para el modelo: $CICT = 5.6778 + 0.2846 X_1$
 $R^2 = 0.5755$ $CME = 18.8700$

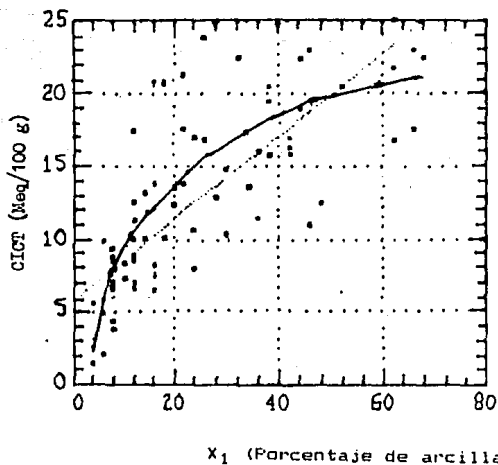


Fig. 5 Diagrama de dispersión y curva de ajuste para el modelo: $CICT = -5.3007 + 6.2346 \ln X_1$
 $R^2 = 0.6457$ $CME = 15.7516$

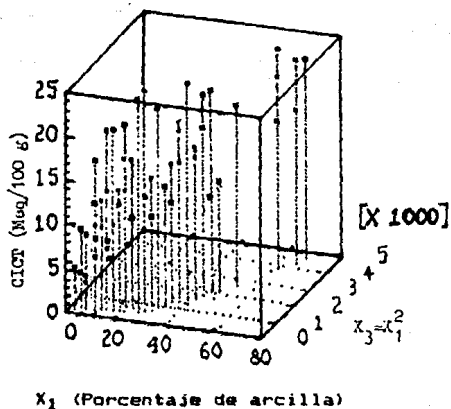


Fig. 6 Diagrama tridimensional de dispersión para el
 modelo $CICT = 2.3503 + 0.6322 X_1 - 0.0056 X_3$.
 $R^2 = 0.6465$ CME = 15.9157

Cuadro 1. Coeficientes de determinación R^2 y cuadrados medios del error CME, correspondientes a cada uno de los modelos probados.

Modelo	R^2	CME
1. $10.5661 + 0.8610 X_2$	0.0919	40.3666
2. $5.6778 + 0.2846 X_1$	0.5755	18.8700
3. $-5.3007 + 6.2346 \ln X_1$	0.6457	15.7516
4. $4.4224 + 0.2791 X_1 + 0.7443 X_2$	0.6441	16.0232
5. $2.3503 + 0.6322 X_1 - 0.0056 X_3$	0.6465	15.9157
6. $3.8961 + 0.3006 X_1 + 1.1913 X_2 -$ $0.01178 X_4$	0.6490	16.0040

VIII. DISCUSION

En primer término se analizan las distribuciones de frecuencia de cada una de las variables observadas: porcentaje de arcilla (X_1), porcentaje de materia orgánica (X_2) y capacidad de intercambio catiónico total (Y). En forma posterior se analiza los ajustes realizados para cada modelo planteado.

8.1 Distribuciones de frecuencia

Arcilla: De acuerdo con la tabla 1, el 30.49 % de los suelos muestreados presenta un contenido de arcilla menor del 10%. El 18.29% contiene un porcentaje de arcilla menor a 35, correspondiente a una textura arcillosa. La mayoría de los suelos muestreados (55.22%) son de textura migajosa, siendo su contenido de arcilla entre 10 y 35%.

Materia orgánica: La mayoría de las muestras (67.06%) presenta un contenido de 0 a 2%, el cual se considera bajo (13). El 24.29% presenta un contenido medio (2-4%) y una pequeña proporción (8.54%) posee valores que se pueden considerar altos, esto es, superiores al 4% .

De estos resultados se infiere que los contenidos de materia orgánica en la mayoría de los suelos no son altos. Esto se puede deber principalmente, al clima cálido que se presenta en la zona de estudio, ya que existe una relación inversa

entre materia orgánica y temperatura, de acuerdo con estudios realizados en Colombia, Ecuador y la India (5). En efecto, la materia orgánica se degrada más fácilmente en climas cálidos y húmedos, ya que las reacciones químicas y la actividad microbiológica se incrementan en estas condiciones (7).

Capacidad de intercambio catiónico total: De acuerdo con la tabla 3, casi la mitad de las muestras poseen menos de 10 meq/ 100 g., rango que se considera bajo y que presenta problemas de fertilidad (14). El resto presenta contenidos medios. La CICT no rebasa los 25 meq/100 g. no obstante que en los suelos colectados existe una fracción de muestras con un contenido mayor del 35% de arcilla, en contraste con otros suelos arcillosos como los vertisoles, que alcanzan hasta 80 meq/100 g. Los valores observados (bajos y medios) se deben a los tipos de arcilla que existen en la zona y que son: hidrómicas, caolinita y algunos óxidos como gibsita (23); y que presentan una baja CICT (8).

B.2 Análisis de regresión

De acuerdo con el cuadro 1, se puede ver que de los seis modelos probados, el que menos se ajustó es el 1, que contiene a M.D. Únicamente, ya que sólo explica un 9.19% de la variabilidad de la CICT, como se infiere de su R^2 , además, su CME es el más alto de todos. Esto se debe

probablemente a que la materia orgánica de estos suelos, se encuentra en forma no humificada. La cual a diferencia de la humificada, no posee las propiedades electrostáticas que permiten atraer y retener los cationes y, por lo tanto, no contribuye a incrementar la CICT.

Los modelos que contienen a la arcilla únicamente (2 y 3), presentan un mejor ajuste con respecto al anterior; como se puede ver en el cuadro 1, al comparar sus valores de R^2 y CME con respecto al modelo 1. Esto se puede deber a que a diferencia de la M.O., toda la arcilla presente en el suelo, posee las propiedades electronegativas que permiten aumentar la CICT. De los modelos anteriores el que mejor se ajustó fue el 3 (modelo logaritmico), lo que sugiere una trayectoria curva más que una línea recta (fig. 5). Esta trayectoria se debe, por un lado, a que existen suelos con bajo contenido de arcilla, pero éstos poseen una alta CICT, y por otra parte, se presentan suelos con alto contenido de arcilla, pero de tipo caolinítico, la cual posee una CICT más baja. Por esta razón, la tasa de incremento de CICT con respecto a la arcilla, inicialmente es alta y posteriormente disminuye hasta permanecer casi constante.

Los modelos 4 y 6, se utilizaron, para observar si el efecto conjunto de arcilla y M.O. mejoraba el ajuste, sin embargo, tanto las R^2 como el CME son muy similares al modelo

logarítmico, lo que indica que la adición de la variable M.O. no contribuye significativamente a explicar el comportamiento de la CICT.

El modelo 5, se planteó para probar si la tendencia curva de los datos (fig. 5), se ajustaba más a una curva de tipo parabólico, que una logarítmica, lo que se reflejaría en un valor mayor de R^2 y un menor CME. Esto no se observó.

Con base en las consideraciones anteriores se seleccionó el modelo 3, $CICT = -5.3007 + 6.234 \ln X_1$, ya que cuando existe similitud entre las R^2 y los CME de varios modelos, siempre es preferible seleccionar aquel con menor número de variables, para evitar el efecto que surge cuando se emplea un modelo que contiene 2 o más variables muy correlacionadas entre sí y que conduce a disminuir la confiabilidad de la estimación (18).

IX. CONCLUSIONES

1. El porcentaje de materia orgánica tiene, un bajo grado de correlación con la capacidad de intercambio catiónico total de los suelos analizados.

2. La variable que explica mejor el comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico total es el porcentaje de arcilla.

3. De los seis modelos probados el que mejor explica y predice la CICT es el que corresponde a la ecuación :

$$Y_{CICT} = -5.3007 + 6.2346 \ln (\% \text{ de arcilla})$$

$$R^2 = 0.6457$$

$$CME = 15.7516$$

X RECOMENDACIONES

1. Es posible mejorar la estimación de la CICT si se llevan a cabo otros estudios realizando un muestreo estratificado, por grupos de suelo de origen común y características fisicoquímicas similares dentro de cada grupo. Con esto se espera aumentar la homogeneidad de los datos de CICT.
2. Se recomienda para los productores que tengan suelos con baja CICT (menores de 10 meq/100 g.) y, que de acuerdo con el modelo seleccionado corresponden a suelos con un porcentaje de arcilla menor que 12, las siguientes medidas agronómicas:
 - 2.1. Probar con mayores cantidades de fertilizantes y aplicar este insumo en varias dosis, para evitar la pérdida de nutrientes (cationes) por el lavado del suelo.
 - 2.2. Incorporar materia orgánica en el suelo, en forma de abono verde como leguminosas o algún otro residuo de cultivo que tenga un alto contenido de nitrógeno. Estos restos son rápidos formadores de humus, que es la parte de la materia orgánica que realmente contribuye a elevar la CICT.
 - 2.3 Tomar medidas para prevenir y controlar la erosión y evitar la pérdida de arcilla y nutrientes por lixiviación.

BIBLIOGRAFIA

1. Aguilar S y Echevers B. Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del suelo. Ed. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, Méx. 1982.
2. Buol. Soil Genesis and Clasification, 2^a ed., Ed. Iowa, 1980
3. Comber N., An Introduction to the Scientific Study of the Soil. 4^{ta} ed. Ed. Edward Arnold LTD London, 1960.
4. Foth H. and Millar C, Tuck L. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. 6^a ed. Ed. Continental. España, 1982.
5. Fassbender H. Química de Suelos Ed. Interamericana de Ciencias Agrícolas de la OEA. Costa Rica, 1975.
6. Fitz P. Soils: Their Formation Clasification and Distribution. ED. Longman. New York , 1980.
7. García A., Experimentos en Microbiología de Suelos. ED. Continental, México, 1981.
8. Hardy. Suelos Tropicales. ED. Herrero, México, 1961.
9. Howard B., Estadística Paso a Paso. ED. Trillas. México, 1983.
10. Kononova M., Materia Orgánica del Suelo. ED. Oikos-taus, Madrid, 1981.
11. León A., Nueva Edafología. ED. Gaceta, México, 1984.
12. Manual de Edafología., Duchaufor F. ED. Toray-Masson, Madrid, 1984.

13. Manual del Cacao. Hardy, ED. IICA, Costa Rica, 1970.
14. Manual de Fertilidad de los suelos., Potash Phosphate Institute. Atlanta, Georgia, 1988.
15. Memorias de la Reunión sobre Investigación en el Estado de Oaxaca., INIFAP. México, 1989.
16. Palmer G. y Troh I., Introducción a la Ciencia del Suelo. 2ª ed. ED. Chapingo, México, 1977.
17. Reganol and Harsh. Expressing Cation Exchange Capacity in Milliequivalents per 100 grams and in si units. Journal of Agronomic Education 14: 84-90, 1985.
18. Said I. y Zarate G., Métodos Estadísticos. ED. Trillas. México, 1984.
19. El Sector Alimentario., ED. INEGI, México, 1985.
20. Soil Science Laboratory Manual for Introductory Level. Foth H. and Withee L. 5ª ed. ED. Brown Company, USA, 1988.
21. Steel y Torrie J., Bioestadística Principios y Procedimientos. ED. Mc Graw-Hill Latinoamericana, Colombia, 1979.
22. Sutcliffe J. y Baker A., Las Plantas y las Sales Minerales. Barcelona, 1979.
23. Vasquez R. Levantamiento Fisiográfico del Area de Influencia de Tapanatepec, Oaxaca.. Tesis de Licenciatura, UNAM. México, 1983.
24. Villanueva O. Fertilidad de Suelos., ED. Chapingo, México 1977.

25. Yuan, TL. y Leighty., Relative Contribution of Organic and Clay Fraction to Cation Exchange Capacity of sandy soils from several groups. Soil Science 104: 123-128.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

A P E N D I C E

Apendice. Determinación de textura

La arena con tamaño de partícula de .02 a 2 mm sedimentará a los 40 seg., por lo que la primera lectura del hidrómetro corresponderá al contenido en gramos por litro de la arcilla más el limo, que son las partículas que quedan en suspensión.

A las 2 horas, las partículas de limo con diámetro de 0.02 a 0.002 mm han sedimentado, por lo que sólo quedan en suspensión las partículas de arcilla con diámetro menor de 0.002 mm y la segunda lectura del hidrómetro corresponderá al contenido en gramos por litro de arcilla.

Los cálculos se efectúan de la forma siguiente:

$$\% \text{ de arcilla} = \frac{\text{2a lectura}}{\text{gramos de suelo}} \times 100 = \frac{10}{50} \times 100 = 20\%$$

$$\% \text{ de limo} = \frac{\text{1a lectura} - \text{2a lectura}}{\text{gramos de suelo}} \times 100 = \frac{30 - 10}{50} \times 100 = 40\%$$

$$\% \text{ de arena} = 100 - (40+20) = 40\%$$

Con estos datos se determina la textura en el siguiente triángulo que nos da una textura franca (14).

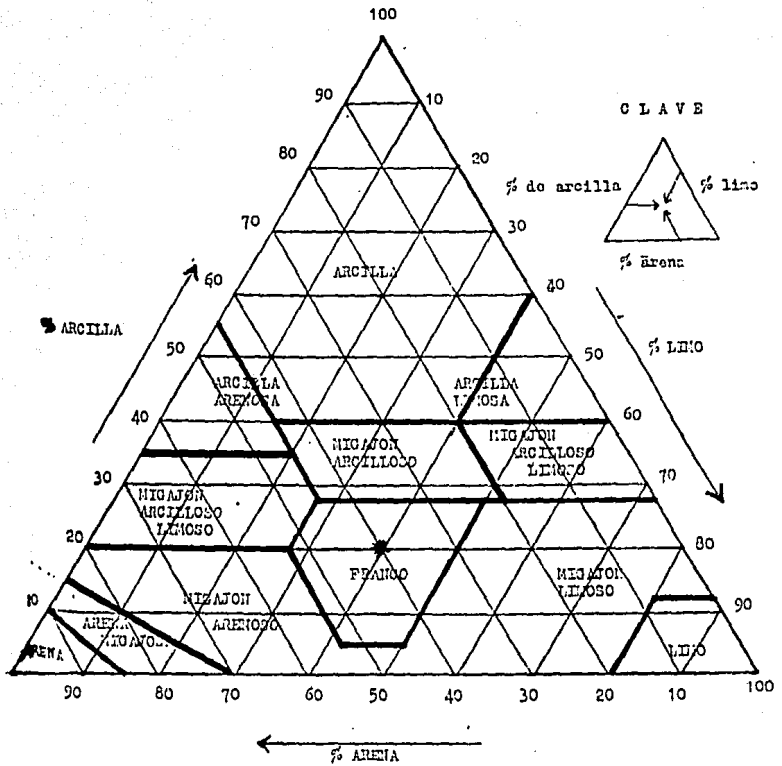


Fig. 7 Triángulo de texturas.