

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



EVALUACION DE METODOS PARA DETERMINAR  
EL REQUISITO CALIZO EN SUELOS ACIDOS  
DE LAS ZONAS CAFETALERAS DE  
EL SALVADOR

TRABAJO PRESENTADO POR

REINA ELIZABETH FUNES SOTO

PREVIA OPCION AL TITULO DE

LICENCIADO EN QUIMICA

1983

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA



T  
631.41  
F981e

BIBLIOTECA CENTRAL  
  
INVENTARIO: 10106297

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DOCTOR MIGUEL ANGEL PARADA.

SECRETARIO GENERAL:

LICENCIADO RICARDO ERNESTO CALDERON

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANO :

DOCTORA AMELIA RODRIGUEZ DE CORTEZ

SECRETARIA:

DOCTORA: RHINA YOLANDA GUERRERO DE LARA

A S E S O R E S:

DRA. MARIA ISABEL DOMINGUEZ DE NUÑEZ

DRA. ALICIA PINEDA NUÑEZ

JURADO CALIFICADOR:

DRA. AURA MARGARITA RENDON DE VELASQUEZ.

DRA. LILIAN NAVARRETE VDA. DE AYALA PINO.

DRA. MARIA EMILIA SORIANO DE MIRANDA.

LUGAR DE PRACTICA:

LABORATORIO DE SUELOS Y QUIMICA AGRICOLA  
DEL INSTITUTO SALVADOREÑO DE INVESTIGACIONES  
DEL CAFE, SANTA TECLA.

D E D I C A T O R I A

A Dios Todopoderoso, con fe y amor.

A la Virgen de Guadalupe.

A mis padres:

Ruperto de Jesús Funes Benavides

Etelvina Soto

Con amor y gratitud.

A mis hermanos:

Ena, Ruperto de Jesús y Mario,

Con cariño.

A mi esposo:

Manuel Cruz Hidalgo

Por su apoyo y comprensión.

A mis tíos, primeros hermanos, sobrinos y demás familia,

Con cariño.

A mis Profesores, compañeros y amigos.

## A G R A D E C I M I E N T O S

Al Ing. Agr. Humberto Emilio Aguilera Viscarra, por su colaboración, recomendaciones y sugerencias que hicieron posible la realización de este trabajo.

A las Dras. María Isabel Domínguez de Núñez y Alicia Pineda Núñez, que con su experiencia y amplios conocimientos científicos me dieron acertada orientación para el desarrollo de esta investigación.

Al Señor Luis Felipe Martínez y al Ing. Agr. José Manuel Meza por su valiosa colaboración en los Análisis Estadísticos.

A los Ings. Agrs. César Adolfo Hananía y Francisco A. - Fischnaler D., por haber estado de acuerdo para que el trabajo se realizara en el Laboratorio de Suelos, del Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café.

A todo el personal del Departamento de Suelos y Química Agrícola del ISIC, quienes en una u otra forma colaboraron para que el presente trabajo se realizara satisfactoriamente.

A todos, muchas gracias.

## I N D I C E

	<u>Página No.</u>
I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCION.....	2
III. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	4
IV. MATERIALES Y METODOS.....	11
1. Muestreo.....	11
2. Preparación de muestras de suelo.....	12
3. Análisis físicos.....	12
4. Análisis químicos.....	13
5. Fase Experimental I.....	19
6. Fase Experimental II.....	19
7. Diseño Experimental.....	19
V. RESULTADOS.....	20
VI. DISCUSION.....	22
VII. CONCLUSIONES.....	29
VIII. RECOMENDACIONES.....	31
IX. BIBLIOGRAFIA.....	33
X. APENDICE.....	37

## X - A P E N D I C E

	Página No.
A- Terminología Cafetalera.....	38
B- Métodos Físicos.....	39
1. Determinación de textura método de Bouyou-- cos.....	39
2. Tabla de corrección de temperatura.....	44
3. Triángulo textural del suelo.....	43
C- Métodos Químicos.....	45
1. Determinación de Ph. (solución KCl 1N).....	45
2. Extracción de elementos P, K, NO <sub>3</sub> , Fe, Cu, Mn y Zn.....	46
3. Determinación de fósforo en suelos.....	47
4. Determinación de potasio asimilable en sue-- lo.....	49
5. Tabla para cálculo de fósforo en suelos Ca-- rolina del Norte.....	51
6. Tabla para cálculo de potasio en suelos Ca-- rolina del Norte.....	54
7. Determinación de elementos menores en sue-- los.....	56
8. Extracción de elementos, calcio, magnesio y aluminio intercambiable.....	57
9. Determinación de calcio y magnesio intercam-- biables en suelos.....	58
10. Determinación de materia orgánica en suelos.	61

	<u>Página No.</u>
11. Determinación de aluminio intercambia- ble en suelos.....	65
12. Determinación de acidez extractable --- (Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup> ).....	67
13. Método Mehlich's Modificado (BaCl <sub>2</sub> - TEA).	68
14. Método de intercambio catiónico (Metson).	71
15. Método intercambio catiónico (acetato de amonio Ph=7).....	75

### CUADROS

1. Caracterización química inicial.....	80
2. Textura de los suelos.....	81
3. Requisito calizo encontrado para las se- ries de suelos calculado por cada uno de los diferentes métodos.....	82
4. Resultados de los elementos Ph, Ca, Mg, y Al para las cuatro series de suelos obte- nidos por cada uno de los métodos después del encalado.....	90

### GRAFICOS

1. Comportamiento de los elementos Ph, Ca, Mg y Al analizados por diferentes métodos y para cada serie de suelo después del en- calado.....	94
--	----

I- R E S U M E N.

1. Se compararon cuatro métodos de laboratorios denomina--- dos: Aluminio Intercambiable ( $Al^{+3}$ ), Acidez Extractable ( $Al^{+3} + H^+$ ), Mehlich's Modificado ( $BaCl_2$ -TEA), Intercambio Catiónico (Metson).
2. Se utilizaron cuatro suelos de las series: Cbk (Ciudad - Barrios, profundo accidentado en montañas), Aps (Apopa - Cuscatlán, accidentado en montañas), Sad (Santa Ana, muy accidentado en montaña), Aza (Azacualpa, fraco-arcilloso, ondulado en planicie).
3. Cada suelo fue incubado durante un mes para encontrar la cantidad de Aluminio Intercambiable que fue neutralizado.
4. Inicialmente se realizó un análisis completo de fertilidad de dichos suelos encontrándose que las series elegidas presentaron un elevado contenido de Aluminio inter-- cambiable y bajas concentraciones de Calcio y Magnesio.
5. Para la serie de suelo Cbk resultaron ser eficientes todos los métodos ensayados; para la serie Aps resultaron ser eficientes los métodos de Aluminio Intercambiable, - Acidez Extractable ( $Al^{+3}+H^+$ ), Mehlich's modificado ---- ( $BaCl_2$ -TEA), para la serie Sad resultaron eficientes los métodos Acidez extractable ( $Al^{+3}+H^+$ ), Mehlich's modificado ( $BaCl_2$ -TEA) y para la serie Aza Aluminio intercambia- ble, acidez extractable ( $Al^{+3}+H^+$ ), Mehlich's modificado ( $BaCl_2$ -TEA).

## II- INTRODUCCION

Debido a la tecnificación de la caficultura nacional, se ha incrementado el uso de fertilizantes químicos, especialmente los nitrogenados, amoniacales y nítricos, los cuales han ocasionado en los suelos cafetaleros, una acidificación progresiva, provocando un incremento de iones  $Al^{+3}$ , y una disminución de bases cambiables ( $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ ) en la solución del suelo, y consecuentemente una disminución en la fertilidad de los mismos.

A finales de la década de los cincuenta se creía que el hidrógeno intercambiable era la causa de la acidez del suelo. Sin embargo los trabajos de Coleman y otros probaron que el aluminio intercambiable era el catión dominante asociado con la acidez del suelo.

La acción tóxica del  $Al^{+3}$  tiende a acumularse en las raíces de las plantas, impidiendo la absorción y el traslado del calcio y el fósforo a la parte aérea.

De las consideraciones anteriores resulta obvio que el propósito del encalamiento es primariamente neutralizar el aluminio intercambiable, y que para ello se hace necesario determinar la cantidad necesaria de cal para disminuir el porcentaje de saturación de aluminio, a un nivel en el cual el cultivo particular y la variedad crezcan bien.

Este trabajo tiene como objeto determinar el requisito

calizo para encontrar la cantidad de cal necesaria que neutralice en un 100% ó cerca del 100% al aluminio intercambiable.

Además se pretende evaluar la eficiencia de los métodos para determinar el requisito calizo en la neutralización del aluminio intercambiable.

La investigación se realizó en cuatro series de suelos ácidos de zonas cafetaleras con altos contenidos de aluminio intercambiable y bajas concentraciones de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ .

Se evaluaron cuatro métodos de laboratorio: Aluminio intercambiable, Acidez extractable ( $\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$ ), Mehlich's modificado ( $\text{BaCl}_2$ -TEA), intercambio catiónico (Metson).

Se calculó el Requisito calizo por cada uno de los métodos y se incubaron los suelos durante un mes y posteriormente se les determinó Pn, Ca, Mg, y Al intercambiable.

La investigación se realizó en el Departamento de Suelos y Química Agrícola del Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, que proporcionó tanto ayuda material, como asistencia técnica.

### III- REVISION BIBLIOGRAFICA

Coleman y sus discípulos, citados por Bornemiza (1) - dieron las bases experimentales de la teoría del aluminio, las cuales están basadas en el estudio de las propiedades de las arcillas. Estudios comparativos entre las arcillas y resinas de intercambio, fueron realizadas ya que éstas últimas sustancias se parecen mucho a las arcillas en sus propiedades químicas. Cuando se saturaron las resinas de cambio con aluminio, los resultados fueron similares a las de las arcillas tratadas con ácidos diluidos. En base a estos resultados, los autores concluyeron que el aluminio probablemente juega un papel importante en los problemas de acidez del suelo.

Cabala y Fassbender (2) encontraron que en la mayoría de suelos, las cantidades de Ca y Mg cambiables aumentaron con el encalado.

Fassbender (5) dice que la acidez cambiabile ( $Al^{+3} + H^+$ ) disminuye proporcionalmente al aumento de Ca y Mg y -- que el K cambiabile permanece constante e independiente del encalado y a cambios del Ph. Que el porcentaje de las bases cambiables en la capacidad total de intercambio catiónico aumenta, naturalmente con las adiciones de Ca y Mg.

León (16) cita que la acidez intercambiable en suelos es debida, casi enteramente a iones Al monoméricos. Esta fue probablemente demostrado por primera vez por Veith

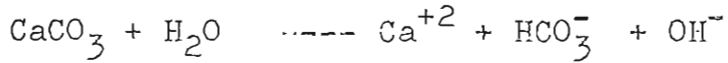
(1902), quien hizo extracciones de suelos con NaCl y los tituló con una base hasta un punto final dado por la fenofaleina. Este autor encontró que el precipitado formado, consistía principalmente de Al con alguna pequeña cantidad de Fe, Mn y Zn. Otros investigadores encontraron que el Al estaba presente en grandes cantidades en suelos ácidos donde las plantas no crecían bien y demostraron la importancia del Al en la porción intercambiable de la acidez del suelo, la cual estaba compuesta completamente por él. Posteriormente se demostró, además que éste era trivalente y que los iones hidroxil-Al no eran intercambiables por sales neutras no amortiguadas.

En el caso de suelos donde la materia orgánica es un contribuyente importante de la Capacidad de intercambio Catiónico (C.I.C.), parece que una gran porción de la acidez intercambiable es H, pero esto puede ser más aparente que real, porque es probable que gran porción del H que aparentemente es intercambiable en suelos orgánicos, provengan de la hidrólisis del Al.

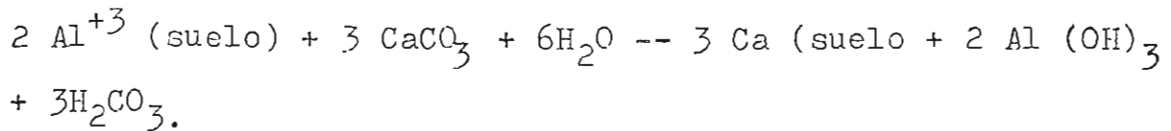
Mela Mela (17) menciona que la acidez del suelo se debe a la escasez o inactividad de varios cationes metálicos, como el Ca y Mg, empleándose preferentemente el primero en corregir dicha deficiencia.

Kamprath (13) observó que cuando se reemplaza el  $Al^{+3}$  intercambiable de un suelo, éste se hidroliza para formar

hidróxido de aluminio e hidrógeno; mientras que el Ph de la solución aumenta, la hidrólisis continúa. La adición de  $\text{CaCO}_3$  al agua da por resultados la siguiente reacción:



Cuando se añade cal a un suelo ácido, el  $\text{H}^+$  resultante de la hidrólisis del  $\text{Al}^{+3}$  reacciona con el  $\text{OH}^-$  para formar  $\text{H}_2\text{O}$ . La neutralización de un suelo ácido puede ser descrita como sigue:



Haby et al (9) determinaron que el grado de neutralización de la acidez de los suelos por la cal, está influenciado por los siguientes factores: Tamaño de la partícula, grado de mixtura, cantidad aplicada y características del suelo.

Coleman et al, citado por Kamprath (14) sugirieron que las recomendaciones sobre encalado deberán estar basadas lógicamente en la cantidad de Al intercambiable en el suelo. El Al extraído con una sal neutra no buffer se considera intercambiable. Estudios hechos en un amplio rango de suelos, demostró que el Al soluble en agua estaba relacionado con el Al extraído con  $\text{KCl}$  1N.

Tisdale (21) informa que la disponibilidad de los microelementos aumenta con una disminución en el Ph. Esto

puede ser perjudicial, a causa de la naturaleza tóxica de la mayor parte de los elementos (Al, Mn, Fe) cuando éstos se hallan en un orden de proporciones distintas en concentraciones muy grandes.

La solubilidad del aluminio aumenta cuando aumenta la acidez, además de los efectos tóxicos, su presencia puede interferir con la absorción de Ca, Mg y otros cationes básicos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ).

Kamprath (12) dice que el encalado mejora la disponibilidad del fósforo y cuando los suelos tienen un alto nivel de fósforo, el desarrollo de las plantas es mejor, se sugiere que el fósforo podría eliminar la toxicidad del Mn dentro de la planta.

Villachica et al (24) encontraron una reducción en la absorción del Mn en sorgo cuando aplicaron dosis bajas de cal a un suelo de Ph 5.0; mientras que con la aplicación de dosis altas de la enmienda disminuyó la absorción del microelemento. La disponibilidad del Fe en el suelo y su asimilación por las plantas también es disminuida por la aplicación de la enmienda.

Kamprath (14) determinó la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C), por la cantidad de ión  $\text{NH}_4^+$  absorbido por un suelo y equilibrado con Acetato de Amonio IN Ph 7. Esta C.I.C., determinada con Acetato de Amonio, incluiría no sólo

aluminio intercambiable y los requisitos calizos. El método  $BaCl_2$ -TEA, resultó totalmente inapropiado para determinar los requisitos calizos de estos suelos.

Villachica *et al.* (24) informan que los suelos de la región tropical húmeda del Perú, son caracterizados porque en su mayoría presentan un bajo Ph, un alto contenido de acidez extractable y bajas cantidades de fósforo disponible. En ellos es recomendable la aplicación de cal, cuando el cultivo lo justifique agronómica y económicamente, a fin de precipitar el aluminio y aumentar la disponibilidad del fósforo. Sin embargo, de acuerdo a las investigaciones realizadas en otras zonas, se ha observado que la aplicación de cal al suelo no solo aumenta la disponibilidad del fósforo, sino que también disminuye la de algunos micronutrientes (B, MO).

Morelli (18) menciona que en suelos donde la fracción mineral predominante son materiales amorfos, la capacidad de intercambio catiónico dependiente del Ph debe ser de considerable magnitud; como consecuencia, el encalado es benéfico para aumentar la saturación de bases y la retención de los mismos. Además, estudió el efecto del encalado en la acidez de cambio y Ph a través del perfil y determinó que el aumento en la dosis del encalado, disminuye la acidez intercambiable  $Al^{+3}+H^+$ , aumentando por consiguiente el Ph. Analizando también, muestras de suelos que procedían de lugares

#### IV- MATERIALES Y METODOS

1. Muestreo
2. Preparación de muestras de suelo.
3. Análisis Físicos
4. Análisis Químicos
5. Fase Experimental I
6. Fase Experimental II
7. Diseño Experimental

##### 1. Muestreo:

Con el objeto de determinar el requisito calizo en suelos ácidos cafetaleros, se seleccionaron cuatro series de -- suelos representativos del área cafetalera, que presenta ban problemas de extrema acidez, producida por altas con centraciones de aluminio y bajas concentraciones de cal cio y magnesio.

Las series seleccionadas fueron la Cbk (Ciudad Barrios, profundo accidentado en montaña), Aps (Apopa, Cuscatlán, accidentado en montaña), Sad (Santa Ana, muy accidentado en montaña), Aza (Azacualpa, franco, arcilloso, ondulado en planicie).

Inicialmente se realizó un muestreo de suelo, para son-- deo, para elegir los sitios o lotes que reunieron las -- características de fertilidad mencionadas anteriormente. Estas muestras fueron tomadas a una profundidad de 0-20 cm., de la banda de fertilización, posteriormente sometij

partículas de distintos tamaños que configuran el suelo. Puede determinarse cuantitativamente por el método de Bouyoucos, el cual consiste en la sedimentación de las partículas del suelo y la concentración de los sólidos en suspensión, se mide periódicamente con un hidrómetro. Los resultados se expresan como porcentaje de limo, arena y arcilla. Dependiendo del porcentaje de limo, arena y arcilla así será el comportamiento de cada uno de los suelos.

#### 4. Análisis Químicos

##### a. Determinación de Ph (Solución de KCl 1N).

Los métodos electrométricos se han generalizado en los Laboratorios y se basan en la medición potenciométrica de la actividad de  $H^+$  contra un electrodo de referencia, generalmente un electrodo de calomel saturado.

La medición se hace en solución 1N de KCl, utilizando la proporción suelo seco: solución 1 a 2.5.

La adición de electrólitos en forma de KCl estabiliza la variabilidad hasta cierto punto, representando el  $K^+$  y el  $Cl^-$  a los cationes y aniones presentes en la solución del suelo, lo que es particularmente importante en suelos abonados por la presencia de sales libres de estas condiciones.

De esta manera se evalúa la acidez o alcalinidad activa, o sea los iones  $H^+$  y  $OH^-$  que se encuentran en la solución en equilibrio de suelo.

Las mediciones en KCl se utilizan cada día más en los Laboratorios por sus múltiples ventajas como:

- 1- Presentan menor susceptibilidad al efecto de dilución.
- 2- El efecto de electrólitos solubles del suelo es enmascarado con  $K^+$  y  $Cl^-$  de las soluciones, y tienen poca influencia sobre el resultado.
- 3- La cantidad de electrólitos de la solución KCl en la concentración y proporción utilizada es muy similar a la cantidad de electrólitos de suelos.

4- Presentan una gran reproductividad.

Ver método pag. No. ( 45 ) del apéndice.

b. Determinación de calcio y magnesio intercambiables.

Estos elementos son determinados en el extracto obtenido con solución de KCl 1N.

Para determinar calcio y magnesio se toma una alícuota del extracto obtenido con solución de KCl 1N y se diluye con solución de Cloruro de Lantano, las concentraciones se leen por el método de Absorción Atómica utilizando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer modelo 306.

Los contenidos en solución de calcio y magnesio son -

expresados como miliequivalentes por 100 g. de suelo --- (M.e.q./100 g. de suelo). Esta representación facilita - los cálculos de encalado y permite evaluar la neutraliza- ción de la acidez del suelo.

Ver método pag. No. (58) del Apéndice.

c. Determinación de materia orgánica.

Esta se determina por el método de combustión húmeda de Walkey y Black, el cual consiste en oxidar la materia or- gánica con ácido crómico en presencia de un exceso de --- ácido sulfúrico, el exceso de ácido crómico es titulado (Valoración residual) con una solución de sulfato ferro- so.

La materia orgánica se expresa en porcentajes.

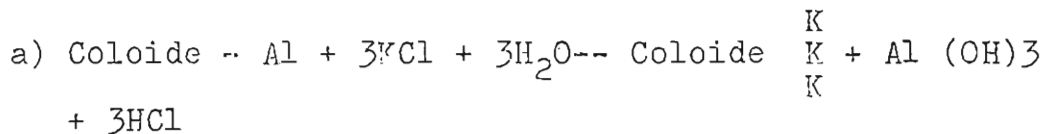
Ver método pag. No. (61) del Apéndice.

d. Método Aluminio Intercambiable (Solución KCl 1N) Caroli- na del Norte.

Cuando se extrae un suelo ácido con una solución no bu- - ffer de una sal neutra, puede obtenerse una medida de la acidez intercambiable que afecta el desarrollo de las -- plantas. Esta acidez intercambiable es debida al alumi- nio.

La extracción del aluminio de un suelo ácido se hace con una solución de KCl 1N y se titula  $\text{NaOH}^+$  0.01N y azul - de bromotimol al 1% como indicador.

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:

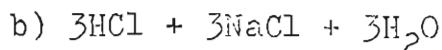
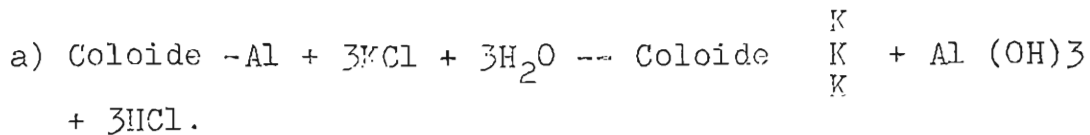


Ver método Pag. No. (65) del Apéndice.

e. Método Acidez Extractable ( $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$ ).

Muy poco hidrógeno intercambiable existe como tal, en -- los suelos minerales. Solamente en suelos ácidos con un contenido alto de materia orgánica se encuentra algo de H. Intercambiable Al extraer un suelo ácido con una solu-- ción de KCl 1N, titulando con NaOH  $\pm$  0.01N y usando Fe-- nolftaleína al 0.1% como indicador se obtiene la suma de ( $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$ ).

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



Ver método Pag. No. (67) del Apéndice.

f. Método Mehlich's Modificado ( $\text{BaCl}_2 - \text{TEA}$ ).

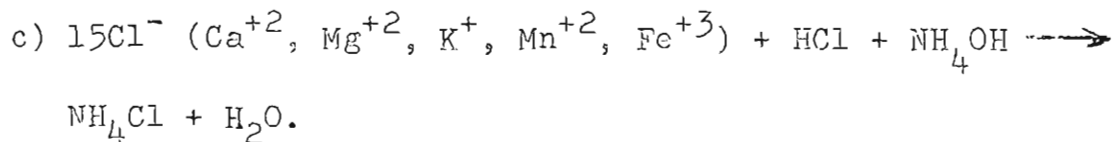
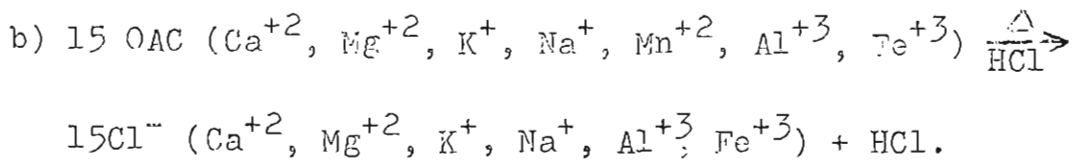
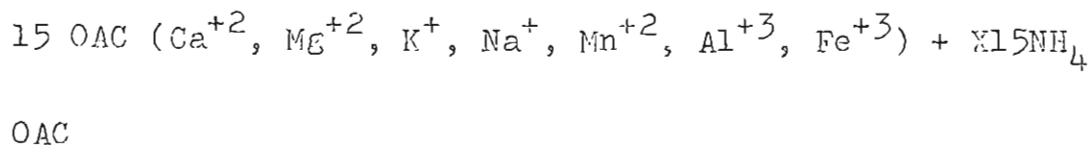
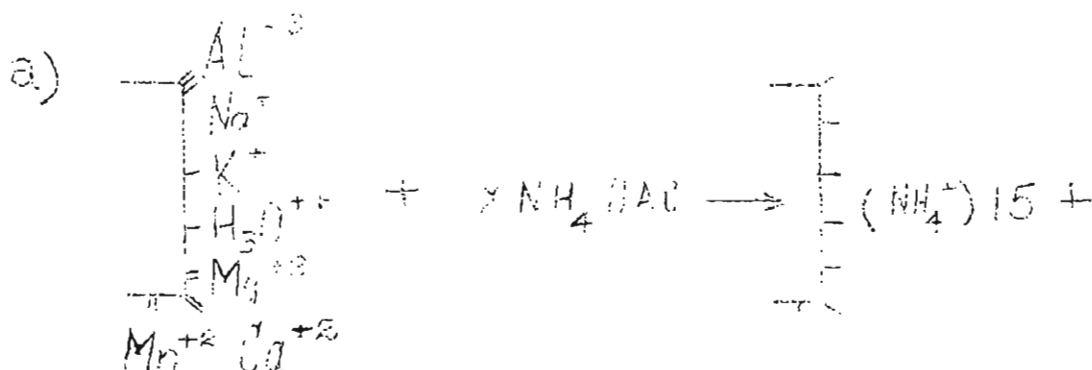
Ciertos suelos aún tienen una gran cantidad de acidez -- después que el aluminio intercambiable ha sido removido con una solución de sal neutra.

Una porción de esta acidez titulable es asociada con la materia orgánica y se denomina acidez no intercambiable que puede ser reemplazada por soluciones buffer con un --



La capacidad de intercambio catiónico se extrae con una solución de Acetato de Amonio a Ph = 7 y también el % de base saturada.

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



Ver Método Pag. No. (71) del Apéndice.

El presente trabajo se llevó a cabo en dos fases experimentales:

5- Fase Experimental I.

En la primera fase se determinó el requisito calizo para cada uno de los suelos en estudio con los siguientes métodos:

Aluminio Intercambiable (solución KCl 1M) Universidad Carolina del Norte, acidez extractable ( $Al^{+3} + H^+$ ), Mehlich's Modificado ( $BaCl_2$ -TEA) y con intercambio catiónico (Metson); cada uno de los métodos se repitió seis veces para seleccionar entre ellos por medio del coeficiente de variación lo más confiables.

6- Fase Experimental II.

La segunda fase de este trabajo se realizó a partir del requisito calizo obtenido por los métodos ensayados en la fase I. En esta segunda fase se comprobó mediante el método de incubación, que el requisito calizo obtenido a partir de los métodos analíticos neutralizó el aluminio intercambiable.

7- Diseño Experimental.

El Diseño Experimental para cada suelo y por cada método seleccionado, fue en bloques alazar con cinco tratamientos: 0, 50, 100, 150 y 200% de neutralización del aluminio intercambiable y cinco repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por un vaso de 250 ml. de capacidad.

## V.- RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este trabajo se presentan a base de cuadros y gráficos.

En el cuadro No. 1 se observa la composición química inicial de las diferentes series de suelos estudiadas.

El Ph de cada una de las series de suelo se califica de extremadamente ácido (3.7 a 4.1), el contenido de calcio es bajo (1.40 a 2.50 M.e.q./100 g. de suelo), el magnesio va de medio (0.48 a 0.77 M.e.q./100 g. de suelo) a alto (0.92 M.e.q./100 g. de suelo), el contenido de aluminio es alto (3.29 a 5.58 M.e.q./100 g. de suelo) y el % de materia orgánica va de medio (2.26 a 4.43%) a alto (7.81 a 9.96%).

En el cuadro No. 2 se presenta la textura de los suelos, según el método de Bouyoucos.

Los suelos presentan una textura desde franco, franco-arcilloso a arcilloso.

En los cuadros número 3 al número 10 se encuentra expresado el requisito calizo encontrado para cada una de las series de suelos por medio de los diferentes métodos durante la fase experimental I.

En esta fase se obtuvieron los siguientes resultados:

Para la serie de suelos Cbk fueron eficientes todos los métodos ensayados; para serie Aps los métodos de aluminio intercambiable, acidez extractable ( $Al^{+3} + H^{+}$ ) y Meh---

lich's Modificado ( $\text{BaCl}_2$ -TEA) para la serie Sad los métodos acidez extractable ( $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$ ) y Mehlich's Modificado ( $\text{BaCl}_2$ -TEA) y para la serie Aza Aluminio intercambiable, acidez extractable ( $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$ ) y Mehlich's Modificado ( $\text{BaCl}_2$ -TEA).

Los resultados de las determinaciones de Ph, Ca, Mg, y Al, después de la incubación aparecen en los cuadros número 11 al número 14. En los cuales se observa que al ir incrementándose las dosis de cal, el Ph aumenta, el aluminio disminuye, el calcio aumenta y el magnesio permanece constante y si hay variación es poca.

En los gráficos número 1 al número 16 se puede observar el comportamiento de los elementos Ph, Ca, Mg, y Al analizados por diferentes métodos y para cada serie de suelo después del encalado. Estos presentan un comportamiento similar al anterior.

## VI- DISCUSION

### 1. Método Aluminio Intercambiable.

Este Método consiste en la extracción del aluminio de un suelo ácido con una solución no buffer de una sal neutra KCl 1N, se titula con  $\text{NaOH}^{\pm}$  0.01N y azul de bromotimol - al 1% como indicador, los ml. de NaOH utilizados da la - medida de la acidez intercambiable, la cual se debe al - aluminio presente en la solución del suelo.

El Método del Aluminio Intercambiable resultó ser el -- más aconsejable en la determinación del requisito calizo; ya que la adición adecuada de  $\text{CaCO}_3$  en un suelo Cbk neutraliza un 95.65% de aluminio, suministrando calcio al - suelo. En el suelo de la serie Aps se neutraliza un -- 89.38% del aluminio con una dosis calculada sobre el 100% del aluminio presente en el suelo.

En el suelo de la serie Aza se neutralizó 92.60% del aluminio con una dosis calculada sobre el 200% del aluminio presente en el suelo.

Para el suelo de la serie Sad estadísticamente resultó - inapropiado este método, con una dosis calculada sobre - el 200% del aluminio presente en el suelo, se neutralizó el 77.25% del aluminio esto se debe a la cantidad de materia orgánica que contiene este suelo, razón por la cual necesita una dosis más alta de cal.

La ventaja que tiene este método además de neutralizar -

en casi su totalidad el aluminio es la economía del tiempo, material y reactivos que se usan en la determinación.

## 2. Método Acidez Extractable ( $Al^{+3} + H^{+}$ ).

Consiste en la extracción de un suelo ácido con una solución no buffer de una sal neutra de KCl 1N, se titula con  $NaOH^{+}$  0.01N y Fenolftaleína a 0.1% como indicador, resultando la suma de ( $Al^{+3} + H^{+}$ ).

Solamente los suelos con alto contenido de materia orgánica poseen cierta cantidad de H. Intercambiable, por esta razón este método es aconsejable para este tipo de suelo.

Este método neutralizó en la serie de suelo Cbk 96.81% del aluminio presente y en la serie Aps 90.61% con una dosis calculada en base al 100% de neutralización, en la serie Sad 80.86% y en la serie Aza 91.57% con una dosis calculada sobre el 200% de neutralización.

Este método resultó apropiado estadísticamente en todas las series de suelo. Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos en el método de aluminio intercambiable, indicando ésto que no se determinó en su totalidad la cantidad de acidez presente, por ello es necesario determinar el  $H^{+}$  y  $Al^{+3}$  intercambiable por separado, sumarlos y compararlos por la suma obtenida por este método, lo cual trae como consecuencia más tiempo de trabajo.

jo, gasto de reactivos y más material utilizado en la --  
determinación.

### 3. Método Mehlich's Modificado ( $BaCl_2$ - TEA)

La acidez titulable, total o no intercambiable es la can  
tidad de acidez extraída con una solución de  $BaCl_2$  - TEA  
tamponada a un Ph de 8 más o menos 0.2.

Este valor es mayor que el del aluminio intercambiable -  
porque incluye hidrógeno no intercambiable asociado con  
los grupos carboxil, y con óxidos hidratados de hierro y  
aluminio, estos componentes no tienen efectos nocivos en  
el crecimiento de las plantas. Por lo tanto la acidez -  
titulable no es de valor práctico.

Sustrayendo la acidez intercambiable obtenida con una sal  
neutra no buffer de la acidez de  $BaCl_2$  - TEA a Ph 8 más  
o menos 0.2 puede obtenerse la medida de la acidez no in  
tercambiable.

Estadísticamente este método resulta apropiado para todas  
las series de suelos y en todas neutraliza el 95% del alumi  
nio presente con una dosis calculada en base al 100% -  
de neutralización.

Este método suministra resultados muy buenos pero tiene  
la desventaja de exigir mucho en horas de trabajo y el -  
resultado se obtiene hasta después de tres días, además  
las cantidades de cal utilizadas son demasiado altas.

#### 4. Método Intercambio Catiónico (Metson).

Este método depende de la extracción del suelo con Acetato de Amonio a Ph=7 para medir la capacidad de intercambio catiónico y % de base saturada.

La extracción se hace filtrando y lavando el suelo con el Acetato de Amonio a Ph=7.

Este método neutralizó en la serie de suelos Cbk 96.81% del aluminio presente, para la serie Aps 88.98%, para la serie Sad 46.05% y para la serie Aza 66.16% con una dosis calculada sobre el 200% de neutralización.

Este método resultó apropiado estadísticamente para la serie de suelos Cbk y para las otras series resultó inapropiado.

Las desventajas que tiene este método es el tiempo necesario, gasto de reactivos y la variabilidad que presenta al repetirse una determinación.

#### Ph.

La medida del Ph obtenida se incrementó para cada método de requisito calizo, y para cada serie de suelo, de acuerdo a los porcentajes de neutralización.

- Para el método del aluminio intercambiable, el suelo de la serie Cbk aumentó 2.48 unidades, comparado con el tratamiento testigo, la serie Aps aumentó 1.76 unidades, la

- serie Sad aumentó 0.62 unidades y la serie Aza aumentó 0.92 unidades.
- Para el método de acidez extractable ( $Al^{+3} + H^{+}$ ), el suelo de la serie Cbk aumentó 2.46 unidades, para la serie Aps aumentó 1.74 unidades, la serie Sad aumentó 1.28 unidades y la serie Aza aumentó 0.66 unidades.
  - Para el método de Mehlich's Modificado ( $BaCl_2 - TEA$ ), el suelo de la serie Cbk aumentó 3.38 unidades, la serie Aps aumentó 2.80 unidades, la serie Sad aumentó 2.34 unidades y la serie Aza aumentó 2.66 unidades.
  - Para el método de intercambio catiónico (Metson), el suelo de la serie Cbk aumentó 1.10 unidades, la serie Aps aumentó 1.12 unidades, la serie Sad aumentó 0.80 unidades y para la serie Aza aumentó 0.28 unidades.

### CALCIO.

En todos los métodos evaluados para requisito calizo se incrementó el contenido de calcio, así como también se aumentó en todas las series de suelos.

Para el método del aluminio intercambiable el calcio de la serie de suelo Cbk se incrementó en 11.68 meq/100 g. de calcio, comparado con el tratamiento testigo, para la serie Aps se obtuvo un incremento de 8.15 meq/100 g. de calcio, para la serie Sad se incrementó 8.84 meq/100 g. de calcio y

para la serie Aza de 13.27 meq/100 g. de calcio.

Para el método de acidez extractable ( $Al^{+3} + H^{+}$ ), el suelo de la serie Cbk aumentó 8.86 meq/100 g. de calcio, la serie Aps 6.05 meq/100 g. de calcio, la serie Sad 8.49 meq/100 g. de calcio y para la serie Aza 12.12 meq/100 g. de calcio.

Para el método Mehlich's Modificado ( $BaCl_2 - TEA$ ), el calcio del suelo de la serie Cbk aumentó 11.43 meq/100 g. el de la serie Aps 9.16 meq/100 g., la serie Sad aumentó 20.63 meq/100 g. y para la serie Aza aumentó 20.68 meq/100 g.

Para el método de intercambio catiónico (Metson), el suelo de la serie Cbk aumentó 4.33 meq/100 g. de calcio, la serie Aps 5.79 meq/100 g., la serie Sad 6.13 meq/100 g. y la serie Aza 6.81 meq/100 g. de calcio.

#### ALUMINIO.

El aluminio disminuyó de acuerdo a los porcentajes de neutralización calculados para cada uno de los métodos y en todas las series de suelos.

Por el método de Aluminio Intercambiable, en el suelo de la serie Cbk se neutralizó el 95.65% del aluminio presente con cada dosis calculada en base al 100% de neutralización, en la serie Aps se neutralizó 89.38% del aluminio, en la serie Sad se neutralizó 37.36% del aluminio y en la serie Aza se neutralizó 64.92% del aluminio.

- Por el método acidez extractable ( $Al^{+3} + H^{+}$ ), en el suelo de la serie Cbk se neutralizó 96.81% del aluminio presente con dosis calculada en base al 100% de neutralización, en la serie Aps se neutralizó 90.61% del aluminio, en la serie Sad se neutralizó 39.71% del aluminio y en la serie Aza se neutralizó 61.60% del aluminio.
  
- Para el método de Mehlich's Modificado ( $BaCl_2 - TEA$ ), en el suelo de la serie Cbk se neutralizó 94.87% del aluminio presente con una dosis calculada en base al 100% de neutralización, en la serie Aps se neutralizó 89.19% del aluminio, en la serie Sad se neutralizó 94.39% del aluminio y en la serie Aza se neutralizó 96.60% del aluminio presente.
  
- Por el método de Intercambio Catiónico (Metson), en el suelo de la serie Cbk se neutralizó 65.11% del aluminio presente con una dosis calculada en base al 100% de neutralización; en la serie Aps se neutralizó 67.35% del aluminio, en la serie Sad se neutralizó 17.85% del aluminio y en la serie Aza se neutralizó 64.92% del aluminio presente.

#### MAGNESIO.

La concentración de magnesio disminuyó en algunas series de suelos y en otras permanece constante; esto se debe a que no se aplicó cal dolomita en este ensayo.

### VIII- RECOMENDACIONES.

- 1- Las recomendaciones de encalado deben basarse en la cantidad de aluminio intercambiable determinado en la capa arable del suelo y las dosis de cal deben calcularse multiplicando los miliequivalentes de aluminio por el factor 2 de encalado cuando el contenido de materia orgánica sea de 2.26 a 4.33%.

El resultado dá los miliequivalentes de calcio que es necesario aplicar en forma de cal así:

Miliequivalentes de acidez intercambiable  $\times 2 =$  M.e.q. de cal necesario para neutralizar el aluminio intercambiable.

1 M.e.q./100 g. de suelo = 1000 libras de  $\text{CaCO}_3$ /Acre.

Las dosis de cal calculadas por este método neutralizan de 90 a 95% del aluminio intercambiable presente en estos suelos.

- 2- En suelos con un contenido mayor de materia orgánica de 7.81 a 9.96% es recomendable hacer uso de un factor de encalado mayor de 2, debido a la presencia de H. Intercambiable.
- 3- El grado de cal necesario no solo depende de la cantidad de aluminio intercambiable presente; sino también de la pureza y fineza de la cal, por lo tanto se recomienda que la cal a usarse debe ser tamizada en un tamíz de 100 Mesh ya que reacciona rápidamente.

4- Debe continuarse con este tipo de investigación en otras series de suelos que cumplan los requisitos necesarios y ser llevados a nivel de invernaderos y a nivel de campo.

IX- BIBLIOGRAFIA.

1. BORNEMIZA, F. Conceptos modernos de la acidez del suelo. Turrialba (Costa Rica) 15 (1): 20-24. 1965.
2. CABALA, R.H. y FASSBENDER, H.W. Efecto del encalado en las formas y disponibilidad de fosfatos en suelos de la región Cacaotera, Bahía, Brasil. Turrialba (Costa Rica) 21 (1): 38-45. 1971.
3. CHAPMAN, H.D. y PRATT, P.F. Análisis de suelo; capacidad de intercambio de cationes intercambiables en suelos no calcáreos. In Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. México, Trillas, 1973. p.27.
4. DIAZ ROMEAU, R. y MUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químicos de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba (Costa Rica), CATIE, Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos. 1978. 60 p.
5. FASSBENDER, H.W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Libros y materiales educativos No. 24. 1975. pp 185-198.
6. FORSYTHE, W. Física de suelos. San José Costa Rica, IICA. 1975. p 212.
7. GREWILING, T. y PEECH, M. Determination of lime requirement (Exchangeable Hydrogen Content) of soil. New York University. College of Agriculture. Chemical - Soil Test. Bulletin No. 960. pp 31-32.

8. GONZALEZ - ERICO, E., et al. Effect of Depth of Lime Incorporation on the Growth of corn on voxisol of Central Brazil. Journal of Soil Science 43(6): 1155-1158. 1979.
9. HABY, S.A., et al. D.D. of Acid Soils and production of corn and coastal Bermuda Grass. Journal of Soil Science 43(2): 343-347. 1979.
10. HESSE, P.R. A text book of soil chemical analysis. New York, Chemical Publishing, 1972. pp 42-43, 103-114.
11. JACKSON, M.L. Soil Chemical Analysis. 2a. Ed. New Jersey. Prentice Hall, 1960. pp 47-48.
12. KAMPRATH, E.J. Exchangeable aluminium as criterios for liming Leached Mineral Soil. Soil Science of America Proceeding. 34 (2): 252. 1970.
13. \_\_\_\_\_. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. U.S.A. International Soil Testing. Boletín Técnico No. 4. 1961. p 6.
14. \_\_\_\_\_. Soil of the humid tropics. Washington, D.C. National Academy of Science, 1972. p 136.
15. KAMPRATH, E.J. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. USA International Soil Testing. Boletín Técnico No. 4. 1967 p 22.

16. LEON, A. Teorías modernas sobre la naturaleza de la acidez del suelo. In Coloquio de suelos, problemas de encalamiento en suelos de Colombia, lo.; Medellín, Colombia, 1970. Trabajos. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 3 (1): 1-23. 1970.
17. MELA MELA, P. Tratado de Edafología y sus distintas aplicaciones. 2a. ed. San Clemente, Zaragoza, España. Agrociencia, 1963. pp 358-363, 484-486.
18. MORELLI, M., IGUE, K., y FUENTES R. Efecto del encalado en el complejo de cambio y movimiento de Ca y Mg. Turrialba (Costa Rica) 21(3): 317-321. 1971.
19. PARRA, H. J. El encalamiento de cinco cultivos en suelos de cenizas volcánicas; experimentación en la zona cafetalera. Cenicafé (Colombia) 20 (3): 91-108. 1969.
20. M. PEECH, L.A. DEAN & O. F. REED. Methods of soil analysis for soil fertility investigations USDA Circular No. 757. 1947.
21. TISDALE, S.L. y MELSON, W.L. La adición de cal. In. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Trad. por Jorge Ballasch y Carmen Piña. Barcelona, Montander y Simón. 1970. pp 444-481.

22. TOBON, C.J.H. y LEON, S.L.A. Comparación de varios métodos para determinar requerimientos de cal en algunos suelos colombianos. In. Coloquio de Suelos, problemas de enclamiento en suelos de Colombia, lo., - Medellín, Colombia, 1970. Trabajos. Bogota, Instituto Colombiano Agropecuario, Instituto Geográfico Agustín Godazzi. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 3 (1): - 66-87.
23. TORRES, J.M. y GRACIAS MOLINA, O. Relación del aluminio con la acidez y calcio + magnesio en suelos ácidos. Boletín Técnico No. 49. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Santa Tecla, El Salvador, C.A.
24. VILLACHICA L., H., BORNEMISZA, E. y ARCA, M. Efecto de la aplicación de cal, fósforo y zinc en el rendimiento y la concentración del zinc, manganeso y hierro en el Pasto Pangola. Turrialba (Costa Rica) 24. .... (2): 132-139. 1974.

X-- A P P E N D I C E

A- TERMINOLOGIA CAFETALERA.

- 1.- Requisito Calizo: cantidad de cal necesaria para neutralizar el aluminio Intercambiable presente en suelos ácidos.

MÉTODOS FÍSICOS.

a- Determinación de Textura.

Método Hidrómetro de Bouyoucos

Referencia:

FORSYTHE, W. Física de Suelo, San José de Costa Rica, IICA, 1975. 212 p.

Equipo:

1. Agitador Mecánico
2. Batidor Eléctrico
3. Hidrómetro de Bouyoucos
4. Termómetro
5. Reloj

Material:

6. Probetas con capacidad de 1130 cm<sup>3</sup>
7. Dos Pipetas de 5 ml.

Reactivos:

1. Solución de Oxalato de Sodio saturada. Se disuelve el Oxalato de Sodio en agua hasta que la solución se satura. se decanta y se guarda en una botella.
2. Solución de Silicato de Sodio. Se disuelve Silicato de Sodio en agua hasta que la densidad sea tal que dé una lectura de 36 en el hidrómetro, a una temperatura de 67<sup>o</sup> F.

Procedimiento:

1. El suelo que va a analizarse debe pasarse por un tamiz ..

- de 2 mm.
2. Colóquese en el vaso del agitador 50 g. de suelo seco, previamente tamizado.
  3. Agréguese agua destilada hasta llenar los  $\frac{3}{3}$  del vaso y póngase en el mismo  $5 \text{ cm}^3$  de Oxalato de Sodio y  $5 \text{ cm}^3$  de Silicato de Sodio.
  4. Después de 15 minutos colóquese el vaso en el batidor y déjese 15 minutos.
  5. Transfiérase la suspensión a la probeta y colóquese en ésta al hidrómetro, agregando agua destilada hasta enrasar con la marca ( $1130 \text{ cm}^3$ ).
  6. Sáquese el hidrómetro y agítese durante 30 segundos con el agitador mecánico.
  7. Déjese de agitar y colóquese el hidrómetro en la probeta y léase después de 40 segundos. En seguida se toma también la temperatura.
  8. Una hora después de la primera lectura, se hace la segunda lectura del hidrómetro y vuelve a tomar la temperatura de la suspensión.

A continuación se presenta un ejemplo o formulario de registro para este tipo de análisis.

Tiempo transcurrido.	Lectura del hidrómetro	Temperatura.	Corrección por temperatura.	Lectura corregida del hidrómetro.
40"	39.94	25	2.00	41.94
1H- 6 - 40"	30.62	25.5	2.18	32.26

Las correcciones del hidrómetro se hacen sumando algebraicamente a las lecturas originales el producto entre la temperatura original en grados fahrenheit y 67 F., por el factor 0.2.

Habiendo hecho las correcciones del hidrómetro, se procede a efectuar los cálculos de la siguiente manera:

1. La lectura del hidrómetro corregida a los 40 segundos, se multiplica por 2 para obtener el limo más arcilla, ya que son las únicas que están en suspensión; pues las arenas en ese tiempo se supone ya decantaron. Se encuentra de este modo el porcentaje de arena, restando de 100 el producto de la multiplicación, anteriormente explicada.
2. La lectura efectuada a 1 hora más 40 segundos, representa a las arcillas en suspensión y se encuentra en que porcentaje están, multiplicando por 2 la lectura del hidrómetro corregida.
3. El porcentaje de limo se encuentra por simple diferencia, restando al producto de la primera lectura, el producto de la segunda lectura.

$$\text{Limo} + \text{arcilla} = 41.94 \times 2 = 83.88\%$$

$$\text{Arcilla} = 32.26 \times 2 = 64.52\%$$

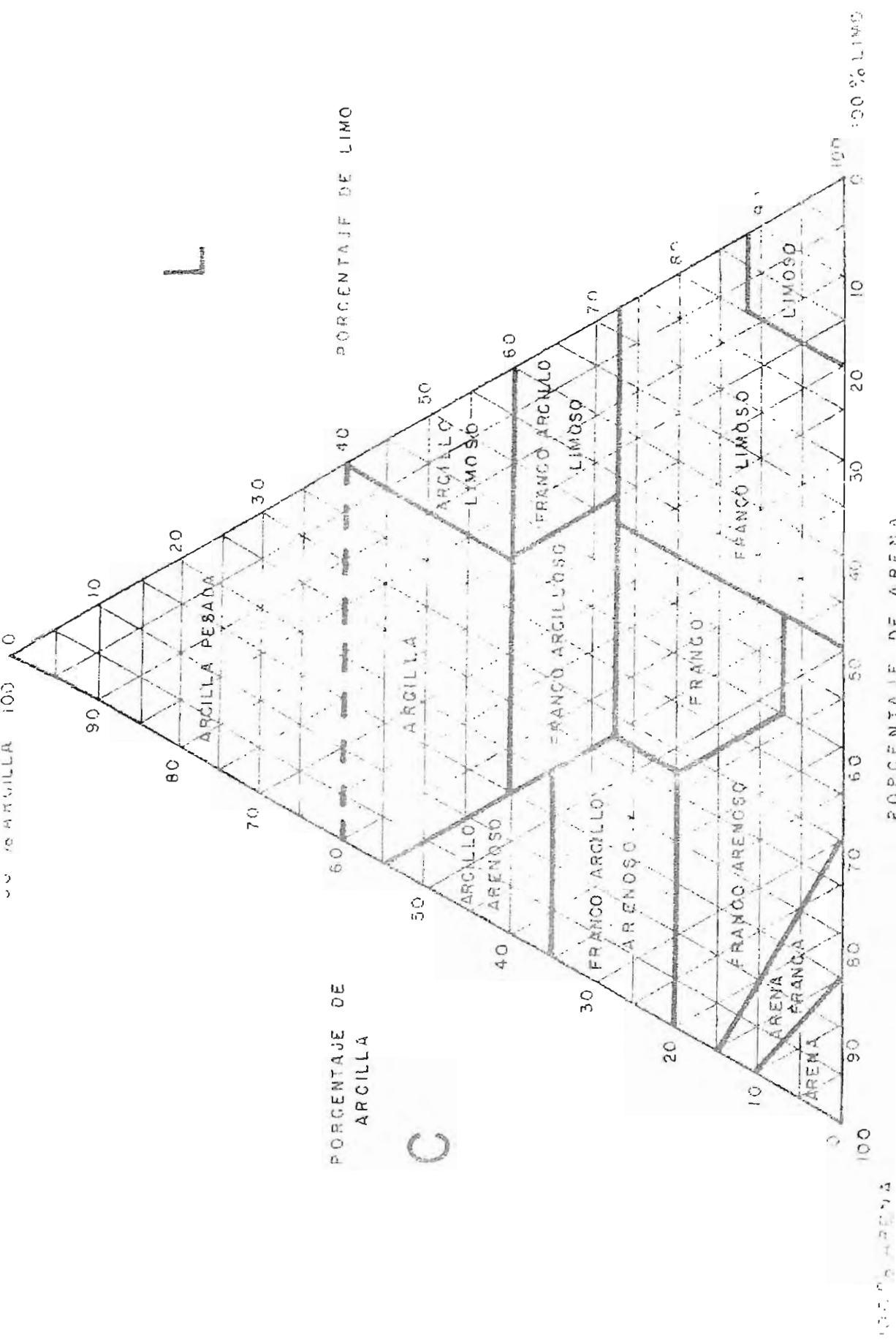
$$\text{Limo} = 83.88 - 64.52 = 19.36\%$$

$$\text{Arena} = 100 - 83.88 = 16.12\%$$

Con los porcentajes antes calculados, de arena, arcilla y limo, se tabulan en el triángulo textural, encontrando así la textura a que corresponde.

En nuestro ejemplo representa a un suelo de la serie --- Cbk de textura arcillosa.





A

GUIA PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE CAMPO  
EN BASE A LA TEXTURA

TABLA PARA CORRECCION POR TEMPERATURA EN EL ANALISIS  
MECANICO DE BOUYOCOS (TEXTURA)

<u>TEMPERATURA °F</u>	<u>TEMPERATURA °C</u>	<u>CORRECCION POR TEMPERATURA</u>
67	19.44	0.00
68	20.00	0.20
68.9	20.50	0.38
69.8	21.00	0.56
70.7	21.50	0.74
71.6	22.00	0.92
72.5	22.50	1.10
73.4	23.00	1.28
74.3	23.50	1.46
75.2	24.00	1.64
76.1	24.50	1.82
77.0	25.00	2.00
77.9	25.50	2.18
78.8	26.00	2.36
79.7	26.50	2.54
80.6	27.00	2.72
81.5	27.50	2.90
82.4	28.00	3.08
83.3	28.50	3.26
84.2	29.00	3.44
85.1	29.50	3.62
86.0	30.00	3.80
86.9	30.50	3.98
87.8	31.00	4.16
88.6	31.50	4.34
89.5	32.00	4.52
90.4	32.50	4.70
91.2	33.00	4.88
92.3	33.50	5.06
93.1	34.00	5.24
94.0	34.50	5.42
95.0	35.00	5.60

## MÉTODOS QUÍMICOS

a) Determinación de Ph en el suelo (con solución de KCl 1N)  
Método: Potenciométrico.

Referencia:

JACKSON, M.L. Soil Chemical Analysis. 2a. Ed. New Jersey. Prentice Hall, 1960. pp 47-48.

Equipo:

Agitador eléctrico

Potenciómetro con un electrodo de calomel y otro de vidrio.

Material:

Vasos plásticos

Beaker de 100 ml

Probetas de 25 ml

Reactivos:

1- Solución de cloruro de potasio 1N

2- Soluciones buffer de Ph = 4 y Ph = 7

Procedimiento:

Tomar 10 ml de suelo con un medidor, agregar 25 ml de solución de KCl 1N, agitar de 10 a 20 minutos manualmente ó 5 minutos en el agitador eléctrico. Dejar reposar 15 minutos, luego agitar un minuto manualmente y tomar la lectura de Ph en el potenciómetro.

El potenciómetro se calibra con soluciones Buffer Ph = 7 y Ph = 4.

b) Extracción de elementos P, K,  $\text{NO}_3^-$ , Fe, Cu, Mn, Zn  
Método Carolina del Norte

Referencias:

Métodos de análisis usados en la División de Análisis -  
del Departamento de Agricultura, Raleigh, Carolina del -  
Norte. Abril 1965 y adaptados por el Dr. J.J. Warker en  
la Sección de Suelos de CENITA.

Material:

Papel filtro Whatman No. 1  
Probetas de 25 y 100 cc  
Frascos de vidrio Pyrex de 20 l  
Medidor de 5 ml

Reactivos:

1. Solución de Melich (Carolina del Norte), HCl 0.05 N y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0.025 N, que se prepara de la siguiente manera:  
Medir aproximadamente 15 litros de agua destilada en un frasco de 20 litros de capacidad, añadir 12 ml de ácido sulfúrico concentrado y 73 ml de ácido clorhídrico concentrado. Llevar a volumen de 18 litros y mezclar bien.  
Esta solución es usada generalmente en las regiones en - donde los suelos normalmente poseen un Ph abajo de 6.5.
2. Carbón Darco G- 60.

Procedimiento de Extracción:

1. Con un medidor de 5 ml (que corresponden aproximadamente a 5 g), se toma una muestra de suelo secado al aire

y que se ha tamizado a través de un cedazo de 2 mm -- (10 mesh, U. S. Standard) y se deposita en un vaso de plástico.

2. Añadir aproximadamente 200 mg de Carbón Darco G - 60.
3. Agregar 25 ml de la solución extractora.
4. A continuación agitar durante 5 minutos en un agitador múltiple.
5. Dejar reposar durante 15 minutos y filtrar en papel - Whatman No. 1.
6. El filtrado obtenido puede usarse para las determinaciones de P, K,  $\text{NO}_3$ , Fe, Cu, Mn y Zn.

c) Determinación de Fósforo en suelos (asimilable)

Método Colorimétrico

Equipo:

Colorímetro

Material:

Tubos de ensayo de 15 ml de capacidad

Pipetas de 2 y 5 ml

Probetas de 100 ml

Reactivos:

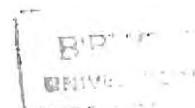
1. Solución extractora de Carolina del Norte.
2. Solución de molibdato de amonio. Disolver 50 g. de molibdato de amonio en un litro de agua destilada.
3. Solución de vanadato de amonio. Disolver 2.5 g de vanadato de amonio en un litro de ácido nítrico (1:1).

4. Solución mixta. Mezclar volúmenes iguales de las soluciones No. 2 y No. 3 en cantidad suficiente para usar en el mismo día.
5. Solución patrón de P (100 ppm). Disolver 0.4392 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en un litro de solución extractora.
6. Patrones de trabajo. Pipetear las siguientes cantidades de la solución de 100 ppm de P en frascos volumétricos de 100 ml y llevar a volumen con solución extractora.

ml sol. 100 ppm P	Volumen	Concentración	ppm P en el suelo
0	100 ml	0 ppm	0
4	" "	4 "	20
8	" "	8 "	40
12	" "	12 "	60
16	" "	16 "	80
20	" "	20 "	120

#### Procedimiento:

1. Desarrollo del color
  - a. Pipetear alícuota de 5 ml del extracto de suelo en tubos de ensayo de 15 ml.
  - b. Añadir 2 ml de la mezcla molibdato-vanadato.
  - c. Dejar en reposo 20 minutos antes de leer el porcentaje de transmisión en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 milimicras, usando 0 ppm P



como referencia (100% transmisión).

## 2. Curvas de Calibración

Pipetear 5 ml de las soluciones de 0, 4, 8, 12, 16 y 20 ppm de P en tubos de ensayo de 15 ml, desarrollar el color y leer el porcentaje de transmisión como en las muestras. Trazar la curva de calibración en papel semilogarítmico. De esta curva se puede obtener una tabla, donde para cada porcentaje de transmisión corresponde un valor en ppm de P (Tabla No. 1).

### Cálculos:

Expresión de los resultados.

Expresar el resultado en ppm de P en suelo seco al aire o a 600°C, según el caso.

1. Calcular por interpolación entre los valores correspondientes de la tabla.

2. Efectuar la siguiente operación:

$$\text{ppm P en suelo} = \frac{\text{ppm en sol. final} \times \text{ml sol. ext.}}{\text{peso en g suelo extraído} \times 5 \text{ ml.}}$$

**NOTA:** Si el color desarrollado es muy intenso y sobrepasa el del patrón más alto, hacer las diluciones necesarias y corregir los cálculos con el factor de dilución al hacer los cálculos.

d) Determinación de potasio asimilable en suelos

Método Fotométrico

Equipo:

Fotómetro de llama.

Material:

Copitas plásticas

Reactivos:

1. Solución extractora 0.05 N de HCl y 0.025 N de  $H_2SO_4$

2. Solución estándar de 1000 ppm de K.

Disolver 1.907 g de KCl secado en la estufa a 120 C  
en 1000 ml de solución extractora.

T A B L A   N º   1

T A B L A   P A R A   C A L C U L O   D E   P   E N   S U E L O   N . C .

<u>% T</u>	<u>ppm P</u>	<u>% T</u>	<u>ppm P</u>	<u>% T</u>	<u>ppm P</u>
12	111.9	41.5	46.4	71	18
12.5	109.8	42	45.8	71.5	17.8
13	107.8	42.5	45	72	17.2
13.5	105.8	43	44.5	72.5	17
14	104	43.5	43.9	73	16.7
14.5	102	44	43.2	73.5	16.2
15	100.1	44.5	42.8	74	15.9
15.5	98.5	45	42	74.5	15.5
16	96.9	45.5	41.6	75	15
16.5	95.1	46	41	75.5	14.9
17	93.7	46.5	40.4	76	14.5
17.5	92	47	39.9	76.5	14.1
18	90.7	47.5	39.1	77	13.9
18.5	89.1	48	38.8	77.5	13.5
19	87.8	48.5	38	78	13
19.5	86.2	49	37.6	78.5	12.9
20	85	49.5	37	79	12.3
20.5	83.6	50	36.4	79.5	12.1
21	82.2	50.5	36	80	11.8
21.5	81	51	35.5	80.5	11.5
22	79.9	51.5	35	81	11.1
22.5	78.8	52	34.5	81.5	10.8
23	77.6	52.5	34	82	10.4
23.5	76.3	53	33.4	82.5	10.1
24	75.2	53.5	33	83	9.9
24.5	74.1	54	32.5	83.5	9.4
25	73	54.5	32	84	9.1
25.5	72	55	31.5	84.5	9
26	71	55.5	31	85	8.5
26.5	70	56	30.5	85.5	8.3

% T	ppm P	% T	ppm P	% T	ppm P
27	69	56.5	30.1	86	8
27.5	68	57	29.8	86.5	7.8
28	67.1	57.5	29.1	87	7.3
28.5	66.1	58	28.8	87.5	7
29	65.3	58.5	28.2	88	6.8
29.5	64.2	59	27.9	88.5	6.3
30	63.5	59.5	27.4	89	6.1
30.5	62.8	60	27	89.5	5.9
31	61.9	60.5	26.6	90	5.5
31.5	61	61	26	90.5	5.3
32	60	61.5	25.6	91	5
32.5	59.2	62	25.1	91.5	4.8
33	58.4	62.5	24.9	92	4.4
33.5	57.8	63	24.2	92.5	4.1
34	57	63.5	24	93	4
34.5	56.1	64	23.5	93.5	3.5
35	55.3	64.5	23.1	94	3.2
35.5	54.6	65	22.8	94.5	3
36	53.9	65.5	22.4	95	2.8
36.5	53.1	66	22	95.5	2.4
37	52.4	66.5	21.5	96	2.1
37.5	51.8	67	21	96.5	1.9
38	51	67.5	20.9	97	1.5
38.5	50.2	68	20.2	97.5	1.3
39	49.7	68.5	20	98	1.1
39.5	49	69	19.1	98.5	0.9
40	48.2	69.5	19.3	99	0.5
40.5	47.8	70	18.9	99.5	0.2
41	47	70.5	18.5	100	0

3. Patrones de trabajo. Pipetear las siguientes cantidades de la solución de 1000 ppm de K en frascos volumétricos de 100 ml y llevar a volumen con sol. extr.

ml sol. de 1000 ppm K	Volumen	Concentración
0	100 ml	0 ppm
1	"	10 "
2	"	20 "
3	"	30 "
4	"	40 "

#### Procedimiento:

Leer los estándares directamente fijando 20 ppm en 50% T. Trazar la curva de calibración en papel milimetrado. De esta curva se puede obtener una tabla, donde para cada porcentaje T aparece su valor correspondiente en ppm de K (Tabla 2).

Enseguida leer los extractos de suelo (obtenidos para la det. de P, Na,  $\text{NH}_4$ , Fe, Cu, Mn y Zn). Verificando el comportamiento del instrumento usando el estándar 20 ppm, después de cada 10 muestras.

#### Cálculos:

$$\text{ppm K} = \frac{\text{lec. ppm curva} \times 25 \text{ ml sol. extractora}}{5 \text{ g (peso muestra)}}$$

$$\text{ppm K} = \frac{\%T \times 0.4 \times 25 \text{ ml sol. extractora}}{5 \text{ g (peso muestra)}}$$

NOTA: Si las lecturas sobrepasan el estándar más alto, hacer diluciones.

TABLA N° 2

## TABLA PARA CALCULO DE P EN SUELO N.C.

% T	ppm K	% T	ppm K	% T	ppm K	% T	ppm K
1.0	2	26.0	52	51.0	102	76.0	152
1.5	3	26.5	53	51.5	103	76.5	153
2.0	4	27.0	54	52.0	104	77.0	154
2.5	5	27.5	55	52.5	105	77.5	155
3.0	6	28.0	56	53.0	106	78.0	156
3.5	7	28.5	57	53.5	107	78.5	157
4.0	8	29.0	58	54.0	108	79.0	158
4.5	9	29.5	59	54.5	109	79.5	159
5.0	10	30.0	60	55.0	110	80.0	160
5.5	11	30.5	61	55.5	111	80.5	161
6.0	12	31.0	62	56.0	112	81.0	162
6.5	13	31.5	63	56.5	113	81.5	163
7.0	14	32.0	64	57.0	114	82.0	164
7.5	15	32.5	65	57.5	115	82.5	165
8.0	16	33.0	66	58.0	116	83.0	166
8.5	17	33.5	67	58.5	117	83.5	167
9.0	18	34.0	68	59.0	118	84.0	168
9.5	19	34.5	69	59.5	119	84.5	169
10.0	20	35.0	70	60.0	120	85.0	170
10.5	21	35.5	71	60.5	121	85.5	171
11.0	22	36.0	72	61.0	122	86.0	172
11.5	23	36.5	73	61.5	123	86.5	173
12.0	24	37.0	74	62.0	124	87.0	174
12.5	25	37.5	75	62.5	125	87.5	175
13.0	26	38.0	76	63.0	126	88.0	176
13.5	27	38.5	77	63.5	127	88.5	177
14.0	28	39.0	78	64.0	128	89.0	178
14.5	29	39.5	79	64.5	129	89.5	179
15.0	30	40.0	80	65.0	130	90.0	180
15.5	31	40.5	81	65.5	131	90.5	181
16.0	32	41.0	82	66.0	132	91.0	182
16.5	33	41.5	83	66.5	133	91.5	183
17.0	34	42.0	84	67.0	134	92.0	184
17.5	35	42.5	85	67.5	135	92.5	185
18.0	36	43.0	86	68.0	136	93.0	186
18.5	37	43.5	87	68.5	137	93.5	187
19.0	38	44.0	88	69.0	138	94.0	188
19.5	39	44.5	89	69.5	139	94.5	189
20.0	40	45.0	90	70.0	140	95.0	190
20.5	41	45.5	91	70.5	141	95.5	191
21.0	42	46.0	92	71.0	142	96.0	192
21.5	43	46.5	93	71.5	143	96.5	193

TABLA N.º 2

## TABLA PARA CALCULO DE P EN SUELO N.C

% T	ppm K	% T	ppm K	% T	ppm K	% T	ppm K
1.0	2	26.0	52	51.0	102	76.0	152
1.5	3	26.5	53	51.5	103	76.5	153
2.0	4	27.0	54	52.0	104	77.0	154
2.5	5	27.5	55	52.5	105	77.5	155
3.0	6	28.0	56	53.0	106	78.0	156
3.5	7	28.5	57	53.5	107	78.5	157
4.0	8	29.0	58	54.0	108	79.0	158
4.5	9	29.5	59	54.5	109	79.5	159
5.0	10	30.0	60	55.0	110	80.0	160
5.5	11	30.5	61	55.5	111	80.5	161
6.0	12	31.0	62	56.0	112	81.0	162
6.5	13	31.5	63	56.5	113	81.5	163
7.0	14	32.0	64	57.0	114	82.0	164
7.5	15	32.5	65	57.5	115	82.5	165
8.0	16	33.0	66	58.0	116	83.0	166
8.5	17	33.5	67	58.5	117	83.5	167
9.0	18	34.0	68	59.0	118	84.0	168
9.5	19	34.5	69	59.5	119	84.5	169
10.0	20	35.0	70	60.0	120	85.0	170
10.5	21	35.5	71	60.5	121	85.5	171
11.0	22	36.0	72	61.0	122	86.0	172
11.5	23	36.5	73	61.5	123	86.5	173
12.0	24	37.0	74	62.0	124	87.0	174
12.5	25	37.5	75	62.5	125	87.5	175
13.0	26	38.0	76	63.0	126	88.0	176
13.5	27	38.5	77	63.5	127	88.5	177
14.0	28	39.0	78	64.0	128	89.0	178
14.5	29	39.5	79	64.5	129	89.5	179
15.0	30	40.0	80	65.0	130	90.0	180
15.5	31	40.5	81	65.5	131	90.5	181
16.0	32	41.0	82	66.0	132	91.0	182
16.5	33	41.5	83	66.5	133	91.5	183
17.0	34	42.0	84	67.0	134	92.0	184
17.5	35	42.5	85	67.5	135	92.5	185
18.0	36	43.0	86	68.0	136	93.0	186
18.5	37	43.5	87	68.5	137	93.5	187
19.0	38	44.0	88	69.0	138	94.0	188
19.5	39	44.5	89	69.5	139	94.5	189
20.0	40	45.0	90	70.0	140	95.0	190
20.5	41	45.5	91	70.5	141	95.5	191
21.0	42	46.0	92	71.0	142	96.0	192
21.5	43	46.5	93	71.5	143	96.5	193

% T	ppm K	% T	ppm K	% T	ppm K	% T	ppm K
22.0	44	47.0	94	72.0	144	97.0	194
22.5	45	47.5	95	72.5	145	97.5	195
23.0	46	48.0	96	73.0	146	98.0	196
23.5	47	48.5	97	73.5	147	98.5	197
24.0	48	49.0	98	74.0	148	99.0	198
24.5	49	49.5	99	74.5	149	99.5	199
25.0	50	50.0	100	75.0	150	100.0	200
25.5	51	50.5	101	75.5	151	100.5	201

e) Determinación de elementos menores (Fe, Cu, Zn, Mn) en suelos.

Referencia:

DIAZ-ROMEAU, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Proyecto Centroamericano de -- Fertilidad de Suelos, 1978. 60 p.

Equipo:

Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Material:

Frascos volumétricos de 25, 100, 1000 ml

Pipetas de 0.5, 1, 2, 4, 5 ml

Reactivos:

1. Solución extractora Carolina del Norte

0.05 N HCl y 0.025N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para 1 litro

2. Solución patrón de 1000 ug/ml de Fe

Pesar 1 g de alambre de hierro (P.A.), disolver en 50 ml de HNO<sub>3</sub> (1:1), llevar a un litro con agua bidestilada.

3. Solución patrón de 1000 ug/ml de Cu

Pesar 3.9273 de sulfato de cobre pentahidratado (CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O), llevar a 1 litro con agua destilada.

4. Solución patrón de 1000 ug/ml de Mn

Pesar 2.8759 g de permanganato de K (KMnO<sub>4</sub>); agregarle 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, más unas gotas de

peróxido ( $H_2O_2$ ), llevar a volumen de 1 litro.

5. Solución patrón de 1000 ug/ml de Zn.

Pesar 1 g de Zinc metálico, agregarle 3.6 ml de HCl y llevar a volumen de 1 litro.

6. Se prepara las soluciones patrones de 25 ug/ml del elemento, diluyendo 2.5 ml de la solución de 1000 ug/ml y llevar a 100 ml.

7. Las siguientes concentraciones son recomendadas para la curva de calibración.

Hierro y Manganeso: 3, 5, 10, 15 ug/ml

Zn y Cu: 0.5, 1 y 2 ug/ml

#### Procedimiento:

Estos elementos se determinan directamente en el filtrado obtenido con la solución extractora de Carolina del Norte, utilizando un espectrofotómetro de Absorción Atómica.

#### Cálculos:

$$\text{ppm Fe, Cu, Mn o Zn} = \frac{\text{Lect. en conc.} \times 25 \text{ ml}}{5 \text{ g}}$$

NOTA: El patrón 0, se obtiene con la solución extractora Carolina del Norte.

f) Extracción de elementos calcio, magnesio y aluminio intercambiables.

#### Referencia:

DIAZ-COMEAU, P. MONTEB, A. Metodología de muestreo de suelos. Análisis químicos de suelo y tejido vegetal e

investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, -  
CATIE, Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos.  
1978 62 p.

Material:

Frascos volumétricos de 1000 ml

Cucharita (2.5 ml)

Vasos plásticos

Reactivos:

Solución extractora de cloruro de potasio (KCl) 1N.

Colocar 74.56 g. de cloruro de potasio en un balón afora-  
do de 1 litro y disolverlo en aproximadamente 400 ml de  
agua destilada. Una vez disuelto, llevar a volumen de  
1 litro con agua destilada.

Procedimiento:

1. Colocar 2.5 ml de muestra de suelo en un vaso de ex--  
tracción y agregar 25 ml de solución de cloruro de po-  
tasio 1N a la muestra.
  2. Agitar durante 10 minutos (aproximadamente a 400 rpm)
  3. Filtrar, usando un papel filtro Whatman No. 1, 2 ó un  
papel filtro de calidad similar.
- g) Determinación de calcio y magnesio intercambiables en --  
suelos.

Método: Absorción Atómica.

Equipo:

Espectrofotómetro de Absorción atómica

## Material:

Frascos volumétricos de 2000 ml

Frascos volumétricos de 1000 ml

Frascos volumétricos de 100 ml

Frascos volumétricos de 25 ml

## Reactivos:

1. Solución de óxido de lantano al 0.5%

Pesar 11.728 g de  $\text{La}_2\text{O}_3$ , agregar 50 ml de HCl y llevar a volumen de 2 litros con agua destilada.

2. Solución Stock de calcio 500 ug/ml

- a. Pesar 1.249 de  $\text{CaCO}_3$  standard primario, agregar 50 ml de agua redestilada y gota a gota HCl (aproximadamente 10 ml) para efectuar la disolución completa; llevar a un litro con agua destilada.

- b. Patrones para las soluciones de trabajo 0, 50, 150, 250 y 500 ppm de Ca.

A partir de la solución de 500 ug/ml de Ca, llevar a volumen de 100 ml con HCl 1N.

ml 500 ug Ca	Vol. con HCl 1N	Concentración ppm
0	100	0 ppm Ca
10	"	50 " "
30	"	150 " "
50	"	250 " "
100	"	500 " "

c. Soluciones de trabajo a partir de 0, 50, 150, 250 y 500 ppm en  $\text{La}_2\text{O}_3$  0.5%

Sol. ppm Ca	Alicuota	Vol. final con $\text{La}_2\text{O}_3$ 0.5%	Concentración
0		100 ml	0 ppm Ca
50	2 ml	"	1 " "
100	"	"	2 "
150	"	"	3 "
250	"	"	5 "
500	"	"	10 "

El patrón 0, es solución de  $\text{La}_2\text{O}_3$  al 0.5%

3. Solución Stock de magnesio 1000 ug/ml

a. Deshidratar  $\text{Mg SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  calentado a 300 C, durante 7 horas o más hasta peso constante.

b. Pesar 1.2375 g de  $\text{Mg SO}_4$  seco y llevar a 250 ml con agua = 1000 ug/ml

c. Patrones para las soluciones de trabajo 0, 10, 25, 50 y 75 ppm. A partir de la solución de 1000 ug/ml de Mg.

ml 1000 ug/ml	Volumen HCl 1N	Concentración
0	100	0 ppm Mg
1	"	10 ppm Mg
2.5	"	25 ppm Mg
5.0	"	50 ppm Mg
7.5	"	75 ppm Mg

c. Soluciones de trabajo (standards) a partir de 0, 10, 25, 50 y 75 ppm de Mg.

ml sol. de	ml a tomar	Volumen final con $\text{La}_2\text{O}_3$ 0.5%	Concentración
0 ppm Mg		100 ml	0 ppm Mg
10 ppm Mg	4	" "	0.4 ppm Mg
25 ppm Mg	4	" "	1.0 ppm Mg
50 ppm Mg	4	" "	2.0 ppm Mg
75 ppm Mg	4	" "	3.0 ppm Mg

Procedimiento:

Usando un instrumento diluidor-dispensador, tomar una -- alícuota de 1 ml del filtrado (3), agregar 24 ml de solu- ción de óxido de lantano al 0.5%.

Leer en el espectrofotómetro de Absorción Atómica los -- dos elementos calcio y magnesio con sus respectivos pará- metros de acuerdo a las instrucciones del manual.

Cálculos para Ca o Mg

$$\text{ppm Ca o Mg} = \frac{\text{Lect. en conc. (A.A.)} \times 25 \text{ ml} \times 25 \text{ ml}}{2.5 \times 1 \text{ ml}}$$

$$\text{ppm} = \text{concentración} \times 250$$

NOTA: Puedo prepararse los standars para calcio y magne- sio en una misma solución.

h) Determinación de materia orgánica en suelos.

Método de combustión húmeda de Wallley & Black.

Referencia:

M. PEECH, L.A. Dean & O.E. Redd. "Methods of soil analysis for soil fertility investigations" USDA. Circular No. 757. 1947.

Material:

Erlenmeyers 500 ml  
2 Buretas de 50 ml  
1 Pipeta de 10 ml (salida rápida)  
1 Pipeta de 1 ml (salida rápida)  
Beakers de polietileno según No. de muestras + blancos.  
2 Beakers de 150 ml  
1 " de 1000 ml.  
1 " de 250 ml.  
1 Probeta de 250 ml  
1 Bureta de 100 ml (salida rápida)

Reactivos:

1. Solución 1N de dicromato de potasio.  
Disolver 98.08 g. de dicromato de potasio en agua y diluir a 2 litros.
2. Solución 0.5N de Sulfato Ferroso.  
Disolver 280 g. de Sulfato Ferroso en agua, añadir 30 ml. de ácido sulfúrico concentrado, enfriar y diluir a 2 litros.
3. Indicador de solución acuosa de difenilaminosulfonato de bario 0.16% como indicador.

4. Acido sulfúrico concentrado (no menos de 96%).
5. Acido fosfórico (85%).

Procedimiento:

1. Pesar 0.5 ó 0.25 gr. de muestra de suelo. Transferir la muestra a un matraz de 500 ml.
2. Agregar 10 ml. de la solución 1N de dicromato de potasio.
3. Inmediatamente agregar de una vez 20 ml. del ácido sulfúrico concentrado.
4. Agitar con un movimiento circular vigoroso durante 1 minuto.
5. Dejar el matraz en reposo 30 minutos sobre una plancha de asbesto.
6. Agregar 200 ml. de agua destilada. Posteriormente, añadir 10 ml. de ácido fosfórico con una pipeta de Mohr y 0.5 ml del indicador.
7. Hacer 2 blancos a la par de las muestras.  
(ésto sirve para calcular la normalidad de la soda).
8. Titular con el sulfato ferroso 0.5N, utilizando una microbureta, un agitador magnético y una lámpara fluorescente. Añadir la solución hasta que ocurra un cambio de color púrpura o azul, continuar la adición del sulfato ferroso en incremento de 0.25 ml. hasta que ocurra un cambio repentino de color verde. Añadir 0.5 ml. de la solución de dicromato para volver a tener un exceso de ésta y completar la titulación añadiendo la solución de

sulfato ferroso gota a gota hasta lograr el color verde puro nuevamente, el cual se toma como punto final.

Cálculos de los resultados:

$$V \times N = V' \times N' \quad \frac{10.5 \text{ ml. } K_2 Cr_2 O_7 \times 1N}{\text{ml. } FeSO_4 \text{ gastados en el blanco.}} = NFeSO_4$$

La normalidad que sé del  $FeSO_4$  multiplicado por los ml. --- que se han gastado en cada muestra se resta a 10.5 (ml. de  $K_2 Cr_2 O_7$  usados) y esos son los ml. reducidos de  $K_2 Cr_2 O_7$ .

$$\% \text{ M.O.} = \frac{\text{ml. de } K_2 Cr_2 O_7 \times 0.004 \times 100 \times 1.724}{0.5 \text{ gr. muestra}} = 1.3792$$

$$\% \text{ M.O.} = \text{ml. reducidos de } K_2 Cr_2 O_7 \times 1.3792$$

$$1 \text{ ml. de } K_2 Cr_2 O_7 = 0.003 \text{ gr. de C. Orgánico.}$$

El coeficiente de recuperación del C. Orgánico por este método es alrededor del 77% en comparación de la combustión seca, se hace la siguiente corrección:

$$\begin{array}{l} 77 \quad \cdot \quad 100 \\ 0.003 \quad \cdot \quad x \end{array} \quad x = \frac{0.003 \times 100}{77} = 0.004$$

La materia orgánica del suelo contiene 58% C.

$$\begin{array}{l} 58 \quad \cdot \quad 100 \\ 1 \quad \cdot \quad x \end{array} \quad x = \frac{100}{58} = 1.724$$

i) Aluminio intercambiable (Universidad Carolina del Norte)

Solución KCl 1N.

Método: Tritimétrico

Referencia:

DIAZ ROBEAU, P. HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos. Análisis químicos de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CA--TIE, Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos. - 1978 62 p.

Material:

Vasos de extracción

Erlenmeyer de 50 ml

Pipetas de 1 y 10 ml

Microburetas de 10 ml

Reactivos:

Solución de KCl 1N.

Pesar 149.12 g de KCl, disolver en agua destilada y --aforar a 2 litros.

Azul de bromotimol.

Pesar 100 mg y pasar a un mortero de ágata; añádase 1.6 ml de la solución 0.1N de NaOH y tritúrese hasta que el indicador esté totalmente disuelto. Diluir a 100 ml en un frasco volumétrico con agua destilada.

Hidróxido de Sodio 0.01N

De la solución de NaOH, 0.1N trasparar con pipeta 50 ml

a un frasco volumétrico de 500 ml, diluir con agua destilada hervida.

#### Extracción:

Pesar 2.5 g de suelo; añadirle 25 ml de solución KCl 1N, agitar por 5 minutos y filtrar usando papel Whatman No. 1.

#### Procedimiento:

Del extracto con KCl 1N, con un aparato pipeteador y diluidor, se toma una alícuota de 5 ó 10 ml y agregarle 10 ml de agua destilada, con el mismo aparato; añadir  $\frac{1}{2}$  ml de indicador azul de bromotimol, titular con una solución  $\pm$  0.01 de NaOH.

#### Cálculos:

Cuando la alícuota es de 10 ml y la normalidad de la soda exacta, los ml de 0.01N de NaOH = meq de Al/100 de suelo; cuando la normalidad de la soda no es exacta, entonces se obtiene el factor de normalidad que se multiplica por los ml de soda gastados.

$$F = \frac{N_{\text{calculada}}}{N_{\text{exacta}}} \quad \text{meq Al/100 g de suelo} = \frac{\text{ml NaOH} \times 1000 \times N_{\text{NaOH}}}{10}$$

Para calcular el requisito calizo se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{meq Al/100 g de suelo} \times 2 = \text{meq de cal necesaria para neutralizar el Al intercambiable.}$$

1 meq de cal por 100 g de suelo = 1000 libras de  $\text{CaCO}_3$  - para una sección de 6 pulgadas de acre ó 2 millones de libras de suelo, se asume que esta cantidad de cal, neutraliza el 100% de Al intercambiable.

j) Acidez extractable ( $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$ )

Método: Titrimétrico

Referencia:

DIAZ POMEAU, R. HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos. Análisis químicos de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos. 1978 - 62 p.

Material:

Vasos de extracción  
Erlenmeyer de 50 ml  
Pipetas de 1 y 10 ml  
Microburetas de 10 ml

Reactivos:

Solución extractora de cloruro de potasio (KCl) 1N. Colocar 74.56 g de cloruro de potasio en un balón aforado de un litro y disolverlo en aproximadamente 400 ml de agua destilada; una vez disuelto, llevar a volumen de un litro con agua destilada.

Extracción:

1. Colocar 2.5 ml de muestra de suelo en un vaso de ex-

tracción y agregar 25 ml de solución de cloruro de potasio 1N a la muestra.

2. Agitar durante 10 minutos (aproximadamente a 400 rpm).
3. Filtrar usando un papel filtro Whatman No. 1, 2 ó un papel filtro de calidad similar.

Procedimiento:

Usando el instrumento diluidor, tomar 10 ml de filtrado, agregar 10 ml de agua destilada y 2 a 4 gotas de fenolftaleína; mientras se agita, titular con solución NaOH 0.01N. Al utilizar este procedimiento, la siguiente fórmula es aplicable:

ml de NaOH 0.01N = meq de acidez por 100 ml de suelo  
meq acidez/100 ml de suelo x 0.10 = g CaCO<sub>3</sub>/100 ml de suelo.

k) Mehlich's Modificado (BaCl<sub>2</sub>-TEA)

Método: Volumétrico

Referencia:

GREWELING, T. y PEECH, M. Determination of lime requirement (Exchangeable Hydrogen Content) of soils. New York University. College of Agriculture. Chemical Soil Test. Bulletin No. 960, 1960. pp 31-32.

Material:

Erlenmeyer de 125 ml

Embudos Buchner

Kitasato de 500 ml

Volumétricos de 25 ml

Reactivos:

Solución extractora: 0.5M de  $\text{BaCl}_2$  - 0.55N trietanolamina, ajustar a Ph 8.

Pesar cerca de 1100 g de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  en un recipiente pyrex de 5 galones, disolver con agua libre de  $\text{CO}_2$ , ---- agregar 500 ml de trietanolamina 2N y 72 ml de HCl 6N, - diluir a 18 litros con agua libre de  $\text{CO}_2$ , mezclar bien - y ajustar el Ph a  $8.00 \pm 0.02$  con HCl o trietanolamina. Esta solución es de 0.03N, con respecto a la base libre, prevenir que la solución absorba  $\text{CO}_2$ , adaptándole un sifón con un tubo que contenga cal sodada; la trietanolamina concentrada C.P. \*, aproximadamente 7.5N. De la --- trietanolamina concentrada, diluye a 2N titulándola con ácido standard, usando la mezcla indicadora que se describe abajo.

Solución de Indicador mixto:

Disolver 0.22 g de verde de bromo cresol y 0.075 g de rojo de metilo en 96 ml de etanol al 95%, agregar 3.5 ml - de 0.01N de NaOH y mezclar.

Procedimiento:

Colocar en un Erlenmeyer 10 g de Lujolo y agregarle 100 - ml de solución extractora, mezclarlo bien, taparlo y de-

\* = Químicamente Puro.

jarlo por la noche en reposo, transferir el contenido -- del frasco en un embudo Buchner No. 40, filtrar con pa-- pel Whatman No. 32 de 4.5 cm, lavar el frasco con solu-- ción extractora hasta tener un volumen de 225 ml. Cada porción de solución extractora que se agrega, debe de-- jarse que se drene antes de la adición de cada porción -- (sin dejar que el suelo se agriete); transferir el fil-- trado a un frasco volumétrico de 250 ml y llevarlo a vo-- lumen con solución extractora; pasarlo a un Erlenmeyer -- de 500 ml y agregarle 5 gotas de la solución indicadora mixta.

Valorar con HCl 0.2N hasta que viere a un color rosado -- (Ph = 5.1): lavar el frasco volumétrico con solución va-- lorada y completar la valoración.

En algunos suelos el punto final varía, debido a que se incrementa el Ph, porque el  $Al(OH)_3$  se disuelve lenta-- mente, pero esta coloración debe ignorarse.

Valorar 250 ml de la solución extractora original para precisar el punto final, usando la cantidad del indica-- dor.

#### Cálculos:

Si  $b$  = ml de ácido necesario para valorar 250 ml de solu-- ción extractora  $S$  = ml de ácido necesario para valorar -- el extracto de suelo y  $N$  = normalidad de ácido; entonces

L = requisito calizo en libras de  $\text{CaCO}_3$  por acre a 6 ---  
pulg. ó 2,000.000 lib. de suelo dada por:

$$(B - S) N \times 10,000 = L$$

1) Intercambio catiónico (Metson)

Método: Volumétrico

Referencia:

HESSE, P. R. A Text book of soil chemical analysis. New  
York, Chemical Publishing, 1972. pp 42-43, 103-114.

Material:

Beakers

Buretas

Pipetas

Reactivos:

Solución acetato de amonio 1.0N: Agregar 57  $\text{cm}^3$  de ácido  
acético glacial y 69  $\text{cm}^3$  de hidróxido de amonio a 800 --  
 $\text{cm}^3$  de agua; diluir a 1000 ml y ajustar Ph 7.

Procedimiento:

Extraer 5-10 g de suelo que pasa a una malla de 2 mm con  
100  $\text{cm}^3$  de acetato de amonio. Llevar el filtrado a un --  
volumen estándar con acetato de amonio. Si se usa la  
técnica de centrifugación, los tubos deben taparse con --  
tapones de polietileno o hule, no con corchos. Es esen-  
cial llevar un blanco a través de todos los pasos, inclu-  
yendo la centrifugación. La solución final no sólo se --  
usa para la determinación de bases intercambiables sino

la determinación individual de los cationes intercambia-  
bles; evaporar una alícuota adecuada del extracto a un -  
volumen pequeño pero no a sequedad en un hotplate, trans-  
ferir el líquido residual a una cápsula de porcelana, la  
vando el recipiente original con agua caliente, evaporar  
la solución a sequedad despacio y cuidadosamente, evitan-  
do que salpique. Cuando el residuo está suficientemente  
seco se incinera en una mufla de 475 a 500 C por hora. -  
Enfriar y agregar un exceso (por lo menos 5 cm<sup>3</sup>) de HCl  
0.2N con una bureta, triturar el residuo con un agitador  
de vidrio. Si el residuo es negro o gris puede contener  
manganeso, el cual puede ser incluido en la determina-  
ción, adicionar 3 gotas de peróxido de hidrógeno al 30%  
y hervirlo en un baño de agua por 30 minutos y valorar--  
lo con solución de NH<sub>4</sub>OH 0.1N, usando rojo de metilo co-  
mo indicador.

La solución valorada si es necesario puede ser usada pa-  
ra la determinación individual de las bases, pero en ge-  
neral es mejor usar una nueva alícuota de extracto para  
ésto.

#### Cálculos:

T.E.I. = total de bases intercambiables

T.E.I. = meq/100 g de suelo = cm<sup>3</sup> de HCl 0.1N usando para  
neutralizar el residuo correspondiente a 10 g de suelo.

Así: Peso del suelo filtrado =  $W_0$   
 filtrado final =  $V \text{ cm}^3$   
 alícuota evaporada =  $v \text{ cm}^3$   
 $\text{cm}^3$  0.1N de  $\text{NH}_4\text{OH}$  =  $u \text{ cm}^3$

Entonces: T.D.I. =  $\text{meq}/100$  de suelo =  $\frac{10 \cdot u \cdot V}{W_{gv}}$

El requisito calizo se calcula como la cantidad de carbonato de calcio necesaria para elevar la saturación de bases a 50%. Para ésto es conveniente, usar la monografía de Metson (Figura 1). Para calcular el requisito calizo, se da un ejemplo.

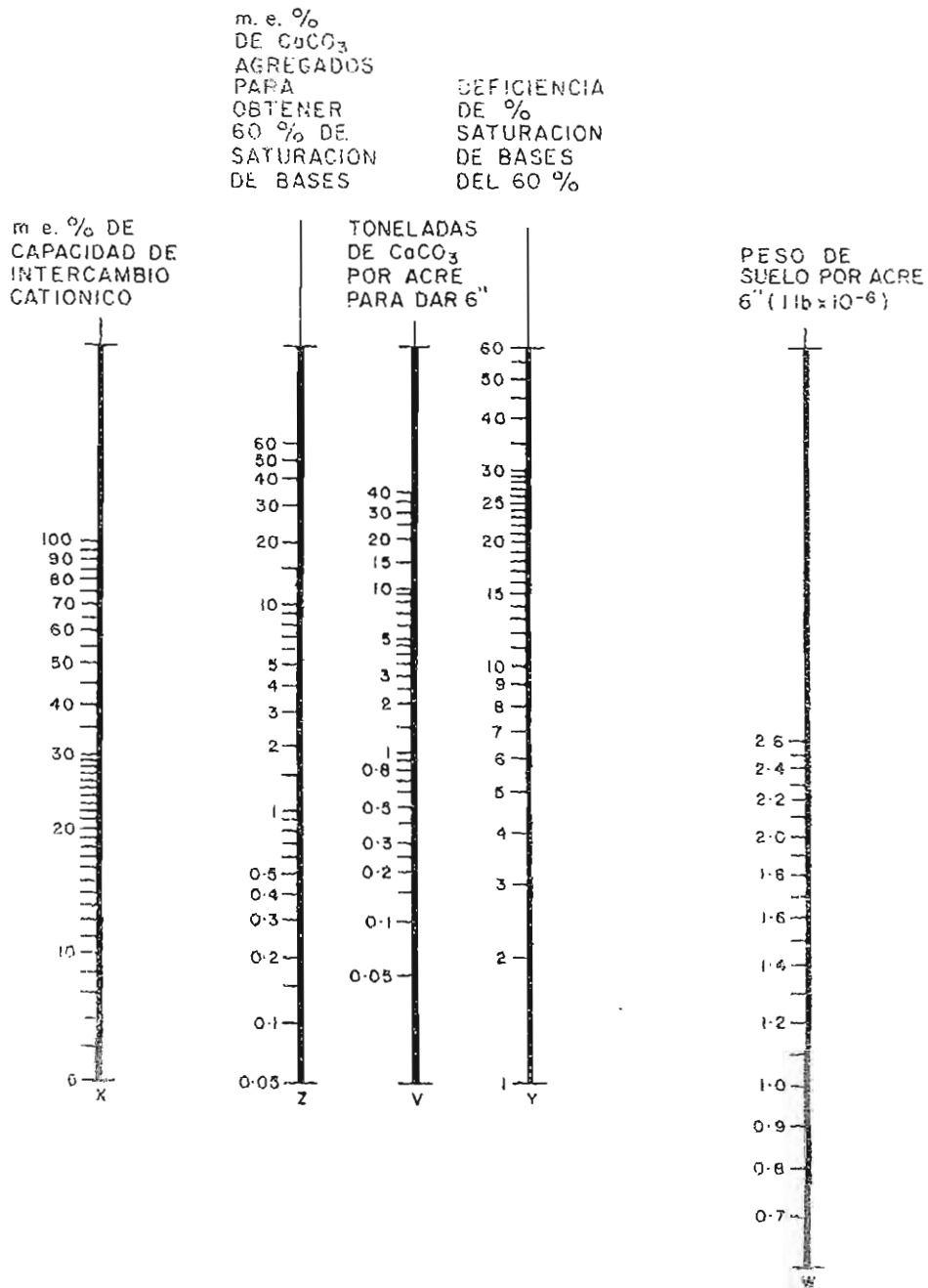


Fig. 1 - Monograma para el cálculo del requisito calizo de suelos, a partir de los datos obtenidos en cationes intercambiables (Nueva Zelandia DSIR). Nota: El factor para convertir el % de total de Bases intercambiables: 1 ton. = 1016 Kg;  $1 \text{ lb} \times 10^6 = 0.45 \times 10^6 \text{ kg}$ ; 1 acre 6 pulg. =  $4 \times 10^3 \text{ m}^2$  15 cms.

con los siguientes datos:

C.I.C. = 40 meq/100 g de suelo

% S.B. = 35

$2.2 \times 10^6$  libras de suelo para una sección de 6 pulg. de acre (ésto es  $2.4 \times 10^6$  kg  $\times 10^4$  x 15 cm)

La deficiencia del % S.B. de 60% = 25

Alinear el número 40 de la escala "x" y el número 25 de la escala "y"; leer meq %  $\text{CaCO}_3$  en escala Z(=10). Alinear el número 10 en escala Z con 2.2 en escala W, leer el requerimiento de cal en toneladas/ acre-6 pulg. en escala (v=5).

m) Intercambio catiónico (Acetato de Amonio Ph 7)

Método: Acetato de amonio para la capacidad de intercambio de cationes en suelos no calcáreos.

Referencia:

CHAMPAN, H.D., PRATT, P.F. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. México, D.F. Trillas, 1973. pp. - 27-29.

Materiales:

Macrokjeldahl

Potenciómetro

Bomba de vacío

Balanza analítica

Reactivos:

Acetato de amonio 1N Ph 7  $\pm$  0.1.

Diluir 600 ml de ácido acético glacial y 750 ml de solución concentrada de amonio (5. P. g 0.91, 25%  $\text{NH}_3$ ) a 10 litros. Si el Ph es menor de 6.9 o más de 7.1, ajustar el Ph con amoníaco o ácido acético.

Acido bórico al 2%.

Disolver 20 g de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) Q.P., en agua destilada o deionizada y diluir a un litro.

Indicador Mixto: para un volumen de 50 ml, pesar 0.90 de rojo de metilo y 0.050 g de azul de metileno, disolverlo en alcohol etílico redestilado al 95%.

Acido sulfúrico 0.1N: diluir 2.84 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado (94-96% en un litro de agua destilada)

Hidróxido de Sodio 1N

De la solución (1:1) de hidróxido de sodio, pesar 40 ml de esta solución a un frasco volumétrico de 500 ml y llevar a volumen con agua destilada hervida y guardar en un frasco de polietileno.

Procedimiento:

Pesar 5 g de suelo, agregar 15 ml de solución de Acetato de Amonio Ph 7, exactamente. Agitar 10 minutos y dejar en contacto toda la noche. Lavar esperando que pase cada porción (sin succión) al vacío, usando un buchner de 3 mm y papel Whatman No. 2 de 11 cm. Para lavar el vaso se utilizan más o menos 15 ml de Acetato de Amonio, para lavar el suelo se agrega con pipeta porciones de 10 ml -

de Acetato para añadir 70 ml (total del Acetato utilizado = 100 ml + 15 ml para lavar el papel filtro = 115 ml). Evitar que el suelo se seque, llevar a volumen de 200 ml con Acetato de Amonio y lavar la muestra con 5 porciones de 10 cc cada uno de alcohol etílico neutro, esperar que pase cada porción y destacar éstos lavados con alcohol.

Destilación: Pasar la muestra (suelo) a un frasco Kjeldahl de 400 mm, con 250 ml de agua, agregar 5 g de NaCl, más 5 gotas de antiespumante, más perlititas de ebullición o pedacitos de porcelana.

En un Erlenmeyer de 250 ml, agregar 25 ml de solución de ácido bórico al 2% con 4 gotas de indicador mixto (agregar con una pipeta). Agregar al frasco Kjeldahl que contiene el suelo y el NaCl 25 ml de NaOH 1N (con probeta), inmediatamente recibir el destilado en el erlenmeyer de 250 ml que contiene el ácido bórico con indicador.

Recibir aproximadamente 250 ml de destilado y titular con:  $H_2SO_4$  0.1N. Llevar un blanco con todos los reactivos.

Cálculos:

$C.I.C. \text{ meq}/100 \text{ g de suelo} = \frac{\text{ml } H_2SO_4 \text{ gastados en la titulación} \times NH_2SO_4 \times 100}{\text{peso de la muestra.}}$

Cationes intercambiables y Saturación de Bases.

La suma de las bases  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , se llama valor S o bases cambiables y expresada como porcentaje de la capacidad total de cambio, se llama porcentaje de saturación.

$$V = \frac{S \cdot 100}{C.I.C.}$$

Determinación de K

Tomar 4.5 ml del extracto y agregar 0.5 ml de NaCl como ionizante (25 g de NaCl en un litro de agua).

Cálculos:

$$\text{ppm K en suelos} = \frac{\text{ppm en el extracto} \times \text{ml del extracto}}{\text{peso en g del suelo extraído}}$$

Determinación de Na.

Tomar 4.5 ml del extracto y agregar 0.5 ml de KCl (25 g de KCl en un litro de agua).

Cálculos:

$$\text{ppm Na en suelo} = \frac{\text{ppm Na en el extracto} \times \text{ml del extracto}}{\text{peso de la muestra}}$$

Determinación de Ca y Mg

Tomar 1 ml del extracto para 25 ml con solución de óxido de lantano (0.5%).

$$\text{ppm de Ca} = \frac{\text{Lectura en concentración} \times V_1 (200) \times V_2 (25)}{\text{Peso de la muestra (5 g)} \times \text{alícuota (1)}}$$

$$\text{ppm de Mg} = \frac{\text{Lectura de concentración} \times V_1 (200) \times V_2 (25)}{\text{peso de la muestra (5 g)} \times \text{alícuota (1)}}$$

$V_1$  = Volumen 1

$V_2$  = Volumen 2

Determinación de Mn

El Mn se determina directamente en el extracto

$\text{ppm Mn} = \frac{\text{lectura de concentración} \times V_{\text{final}} \cdot (200)}{\text{peso de la muestra (5 g)}}$

CUADRO N° 1. CARACTERIZACION QUIMICA INICIAL

S.F.O. 10	PH	meq/100 g de suelo					ppm					Ca M.D
		Co <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	CIC	C	K	Fe	Cu	Mn	Zn	
102	4.0	1.40	0.52	5.52	26.23	5.7	10	32.45	2.72	37.05	1.95	2.26
104	3.7	1.82	0.48	3.44	27.88	10.00	107	153.00	1.90	55.40	9.10	4.73
516	4.1	2.50	0.92	3.29	41.34	5.2	112	147.75	3.15	85.05	3.00	7.81
517	4.0	2.40	0.77	5.44	44.89	5.5	110	87.55	0.55	80.00	2.00	9.66

CUADRO N° 2 TEXTURA DE LOS SUELOS

SERIE DE SUELO	P E R C E N T A J E D E :			CLASIFICACION
	A R I L L A	L I M O	A R C I L L A	
Chk	16.12	19.36	64.52	AR. LIGSO.
Apv	41.40	34.40	24.20	FRANCO
Sed	35.12	35.44	26.44	FRANCO
Alv	31.40	32.52	36.20	FRANCO LIGSO.

CUADRO N° 3 NIVELES DE CAL APLICADOS POR EL METODO ALUMINIO INTERCAMBIABLE

SOLUCION DE LA SERIE	Neutralización %	Mg CaCO <sub>3</sub> /100g de suelo		Kg CaCO <sub>3</sub> /acre	Kg CaCO <sub>3</sub> /ha	Lib CaCO <sub>3</sub> /mz
		Mg CaCO <sub>3</sub> /100g de suelo	Lib CaCO <sub>3</sub> /acre			
	0	0.00	0.00	0.00	00.0	00.00
	50	5.72	57.20	6406.4	6406.4	9865.86
	100	11.44	114.40	12812.8	12812.8	19731.71
	150	17.16	171.60	19219.2	19219.2	29507.57
	200	22.88	228.80	25625.6	25625.6	39283.42
	0	0.0	0.00	0.00	00.0	00.00
	50	3.49	34.90	3908.8	3908.8	6019.53
	100	6.98	69.80	7817.5	7817.5	12039.10
	150	10.47	104.70	11726.4	11726.4	18058.66
	200	13.95	139.50	15635.2	15635.2	24078.21

CUADRO Nº 4 NIVELES DE CAL APLICADOS POR EL METODO DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE.

SERIE DE SUELO	Neutralización %	Mmq $\text{CaCO}_3$ / 100g de suelo	Lib $\text{CaCO}_3$ / acre	Kg $\text{CaCO}_3$ / ha	Lib $\text{CaCO}_3$ / m <sup>2</sup>
S00	0	0.00	0000	0000	000 00
	50	3.30	3300	3696	5571.84
	100	6.60	6600	7392	11383.68
	150	9.90	9900	11088	17075.52
	200	13.20	13200	14784	22767.36
A10	0	0.00	0000	0000 0	000 00
	50	5.38	5380	6025 6	3279 42
	100	10.76	10760	12051.2	19558 85
	150	16.14	16140	18076.8	27830 27
	200	21.52	21520	24102 4	37117 70

CUADRO N° 3 NIVELES DE CAL APLICADOS POR EL METODO DE ACIDEZ EXTRAÍBLE ( $Al^3 + H^+$ )

SUELO DE LA SERIE	Neutrolización %	Meq de $CaCO_3/100g$ de suelo	Lib $CaCO_3$ /acre	Kg $CaCO_3/ha$	Lib $CaCO_3/mz$
CDE	0	0.00	0000	0000	0000.0
	50	5.75	5750	6440	9317.6
	100	11.50	11500	12880	19835.2
	150	17.25	17250	19320	29752.8
	200	23.00	23000	25760	39670.4
APB	0	0.00	0000	0000.0	0000.00
	50	3.49	3490	3908.8	6019.55
	100	6.98	6980	7817.6	12039.10
	150	10.47	10470	11726.4	18958.65
	200	13.96	13960	15635.2	24079.21

CUADRO Nº 6 . NIVELES DE CAL APLICADOS POR EL METODO DE ACIDEZ EXTRACTABLE ( $Al^{+3} + H^{+}$ )

SUELO DE LA SERIE	Neutrologizacion %	Meq $CaCO_3/100g$ de suelo	Lib $CaCO_3/acre$	Kg $CaCO_3/ha$	Lib $CaCO_3/mz$
Sud	0	0.00	0000	0000.0	0000.00
	50	3.77	3770	4222.4	6502.50
	100	7.54	7540	8444.8	13004.93
	150	11.31	11310	12667.2	19507.49
	200	15.08	15080	16889.6	26009.98
Arg	0	0.00	0000	0000.0	000.00
	50	5.31	5310	5947.2	9158.69
	100	10.62	10620	11894.4	18317.38
	150	15.93	15930	17841.6	27476.06
	200	21.24	21240	19982.59	30773.19

CUADRO N° 7 . NIVELES DE CAL APLICADOS POR EL METODO MEHLICH'S MODIFICADO (BaCl<sub>2</sub> - TEA)

SUELO DE LA SERIE	Neutralización %	Lib CaCO <sub>3</sub> /acre	Kg CaCO <sub>3</sub> /ha	Lib CaCO <sub>3</sub> /mz
CEN	0	00.00	00.00	00.00
	50	45723.54	51210.14	78853.52
	100	91446.57	102420.27	157727.21
	150	137170.00	153630.40	236530.81
	200	182893.34	204840.54	315454.83
APS	0	00.00	00.00	00.00
	50	26203.34	30019.74	46230.40
	100	52406.67	60039.47	92460.78
	150	78610.00	90059.20	138691.16
	200	104813.34	120078.94	184921.55

CUADRO N° 9 NIVELES DE CAL APLICADOS POR EL METODO DE INTERCAMBIO CATIONICO (METSON)

Estado de la tierra	Neutralización %	Mg CaCO <sub>3</sub> /100g de suelo	Ton. CaCO <sub>3</sub> /acre	Lib. CaCO <sub>3</sub> /acre	Kg CaCO <sub>3</sub> /ha	Lib CaCO <sub>3</sub> /mz
	0	0.00	0.00	00.00	00.00	00.00
	30	2.00	0.95	2095.75	2346.12	3613.02
	100	4.00	1.90	4189.40	4692.24	7225.05
	150	6.00	2.85	6284.25	7038.36	10839.07
	200	8.00	3.80	8379.00	9384.48	14452.10
	0	0.00	0.00	00.00	00.00	00.00
	50	2.09	0.97	2138.65	2395.51	3689.09
	100	4.17	1.93	4277.30	4791.03	7340.15
	150	6.26	2.90	6415.95	7151.84	11029.23
	200	8.34	3.86	8554.70	9532.66	14550.29

BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CUADRO N° 10 NIVELES DE CAL APLICADOS POR EL METODO DE INTECAMBIO CATIONICO ( METSON )

Suelo de la serie	Neutralización %	Meq CaCO <sub>3</sub> /100g de suelo	Ton. CaCO <sub>3</sub> /acre	Lib CaCO <sub>3</sub> /acre	Kg CaCO <sub>3</sub> /ha	Lib CaCO <sub>3</sub> /m <sup>2</sup>
Sad	0	0.00	0.00	00.00	00.00	00.00
	50	2.25	1.09	2403.45	2691.86	4145.47
	100	4.50	2.18	4806.90	5383.73	8290.94
	150	6.75	3.27	7210.35	8075.59	12436.41
	200	9.00	9.00	19845.00	22226.40	34228.66
Azc	0	0.00	0.00	00.00	00.00	00.00
	50	1.99	0.91	2006.55	2247.30	3460.90
	100	3.98	1.82	4013.10	4494.60	6921.78
	150	5.97	2.73	6019.65	6741.90	10382.69
	200	7.96	3.64	8026.20	8989.20	13776.59

CUADRO N° 11: EFECTO DEL ENCALADO SOBRE pH,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $Al^{+3}$  POR EL METODO DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE EN CUATRO SERIES DE SUELOS.

Suelo de la serie	% Neutralización	pH (KCl 1N)	m g / 100 g de suelo		
			Ca	Mg	Al
Cbk	0	3.30 a	1.350 a	0.778 a	4.830 c
	50	3.74 b	6.188 b	0.726 c	0.826 b
	100	4.86 c	9.760 c	0.714 b	0.214 a
	150	5.56 d	11.830 d	0.540 e	0.158 a
	200	5.78 e	12.960 e	0.490 e	0.150 a
Aps	0	2.90 a	1.524 a	0.458 a	2.264 c
	50	3.34 b	3.346 b	0.456 a	0.256 b
	100	3.98 c	5.316 c	0.460 a	0.242 a
	150	4.50 d	6.778 d	0.460 a	0.144 a
	200	4.66 d	9.678 e	0.472 a	0.144 a
Sad	0	2.88 a	2.528 a	0.778 a	3.556 c
	50	3.02 b	4.988 b	0.826 a	2.996 d
	100	3.14 c	7.378 c	0.782 a	2.226 c
	150	3.30 d	10.050 d	0.818 a	1.344 a
	200	3.30 e	11.370 e	0.802 a	0.812 b
Aza	0	3.48 b	2.218 a	0.580 a	4.156 d
	50	3.60 b	5.658 b	0.596 a	2.982 c
	100	3.84 c	9.338 c	0.604 a	1.466 b
	150	4.14 d	13.034 d	0.646 b	0.828 a
	200	4.40 e	15.488 e	0.584 a	0.306 a

PROMEDIO DE TRATAMIENTOS CON LETRAS IGUALES NO TIENEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS SEGUN PRUEBA DE TUKEY'S AL 1%

CUADRO N° 12 EFECTO DEL FERTILIZANTE SOBRESATURADO DE  $Ca^{+2}$  AL POF EN LA FORMACIÓN DE ACIDOS INTERCAMBIABLES ( $Al^{+3} + H^+$ ) EN CUATRO SERIES DE SUELOS

SUELO DE LA SERIE	% NEUTRALIZACIÓN	Pn (KCL EN)	M.E.G. / 100 g. DE SUELO		
			Ca	Mg	Al
C b K	0	3.32 a	1.348 a	0.818 b	4.062 b
	50	3.82 b	6.352 b	0.790 b	4.388 a
	100	4.88 c	9.624 c	0.710 b	6.130 a
	150	5.60 d	9.808 c	0.492 a	4.944 a
	200	5.78 d	14.304 c	0.432 a	18.0 a
A p a	0	3.00 a	1.434 a	0.466 a	4.48 c
	50	3.38 b	4.632 b	0.476 a	0.480 b
	100	3.94 c	7.162 c	0.508 a	0.254 a
	150	4.46 d	7.778 c	0.484 a	0.132 a
	200	4.74 e	9.984 c	0.450 a	0.122 a
S o s	0	3.00 a	2.528 a	0.770 a	3.500 d
	50	3.58 b	4.984 b	0.794 b	3.318 d
	100	3.85 b	7.390 c	0.778 b	2.114 c
	150	4.02 c	8.736 d	0.686 a	1.440 b
	200	4.28 c	11.016 e	0.676 a	0.666 a
A z a	0	3.44 a	2.224 a	0.584 a	4.492 c
	50	3.40 a	4.752 b	0.616 a	3.254 d
	100	3.58 b	8.492 c	0.644 a	1.722 b
	150	3.85 c	11.532 d	0.698 a	0.790 a
	200	4.10 d	14.324 e	0.722 a	0.378 a

PROMEDIO DE TRATAMIENTOS CON LETRAS IGUALES, NO TIENEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS SEGUN PRUEBA DE TUKEY'S AL 1%

CUADRO N° 13 EFECTO DEL ENCALADO SOBRE PH, Ca, Mg Y AL  
EN CUATRO SERIES DE SUELOS POR EL METODO  
MEHLICH'S MODIFICADO (BaCl<sub>2</sub>-TEA)

SUELO DE LA SERIE	% NEUTRALIZACION	Ph (KCl 1M)	m. e. c. / 100 g de Suelo		
			Ca	Mg	AL
C b k	0	3.30 a	1.466 a	0.774 b	4.096 b
	50	6.08 b	11.526 b	0.540 b	0.130 a
	100	6.42 c	14.348 c	0.358 a	0.208 a
	150	6.56 d	14.720 c	0.338 a	0.164 a
	200	6.68 e	12.892 b	0.346 a	0.112 a
A p s	0	3.00 a	1.836 a	0.504 b	2.222 c
	50	5.22 b	9.674 b	0.476 c	0.120 a
	100	5.46 c	10.450 c	0.428 c	0.238 b
	150	5.66 d	10.790 d	0.408 c	0.266 b
	200	5.80 e	10.998 d	0.428 c	0.224 b
S e d	0	3.74 a	2.314 a	0.644 b	3.030 b
	50	4.88 b	17.266 b	0.656 b	0.186 a
	100	5.68 c	22.344 c	0.800 b	0.172 a
	150	5.88 d	23.216 d	0.556 a	0.164 a
	200	6.08 e	22.948 d	0.536 a	0.132 a
A x a	0	3.22 a	2.330 a	0.758 c	4.996 b
	50	4.48 b	18.558 b	0.748 c	0.226 a
	100	5.22 c	22.772 c	0.688 bc	0.168 a
	150	5.62 d	22.172 c	0.664 a	0.214 a
	200	5.98 e	23.012 c	0.636 a	0.200 a

PROMEDIO DE TRATAMIENTOS CON LETRAS IGUALES, NO TIENEN  
DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS SEGUN PRUEBA DE TUKEY'S AL 1%

CUADRO N°14 EFECTO DEL ENCALADO SOBRE PH, Ca, Mg y Al  
 POR EL METODO INTERCAMBIO CATIONICO (METSON)  
 EN CUATRO SERIES DE SUELOS

SUELO DE LA SERIE	% NEUTRALIZACION	PH (KG 1 N)	m. e. g. / 100 g. DE SUELO		
			Ca.	Mg	AL
C b K	0	3.32 a	1.405 a	0.806 d	4.070 e
	50	3.38 ab	2.100 b	0.746 bc	2.742 d
	100	3.58 b	3.418 c	0.762 c	1.824 c
	150	3.80 c	4.354 d	0.710 c	0.400 b
	200	4.42 d	5.738 e	0.914 ab	0.430 c
A p c	0	2.90 a	1.980 a	0.504 a	2.450 d
	50	3.10 b	3.374 b	0.520 a	1.694 c
	100	3.40 c	4.778 c	0.524 a	0.812 b
	150	3.78 d	6.400 d	0.526 a	0.448 a
	200	4.02 e	7.766 e	0.524 a	0.266 a
P a d	0	3.60 a	2.620 a	0.690 a	2.910 b
	50	3.80 a	3.716 b	0.698 a	2.750 b
	100	3.62 a	5.120 c	0.730 a	2.388 b
	150	3.70 ab	6.830 d	0.734 a	1.998 ab
	200	3.80 c	8.750 e	0.770 a	1.568 a
A z a	0	3.42 a	2.664 a	0.730 ab	5.324 e
	50	3.50 a	4.182 b	0.682 a	4.056 d
	100	3.56 ab	6.198 c	0.730 ab	3.482 e
	150	3.66 b	8.384 d	0.770 b	2.644 b
	200	3.70 b	9.472 e	0.770 b	1.800 a

PROMEDIO DE TRATAMIENTOS CON LETRAS IGUALES, NO TIENEN  
 DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS SEGUN PRUEBA DE TUKEY'S AL

1%

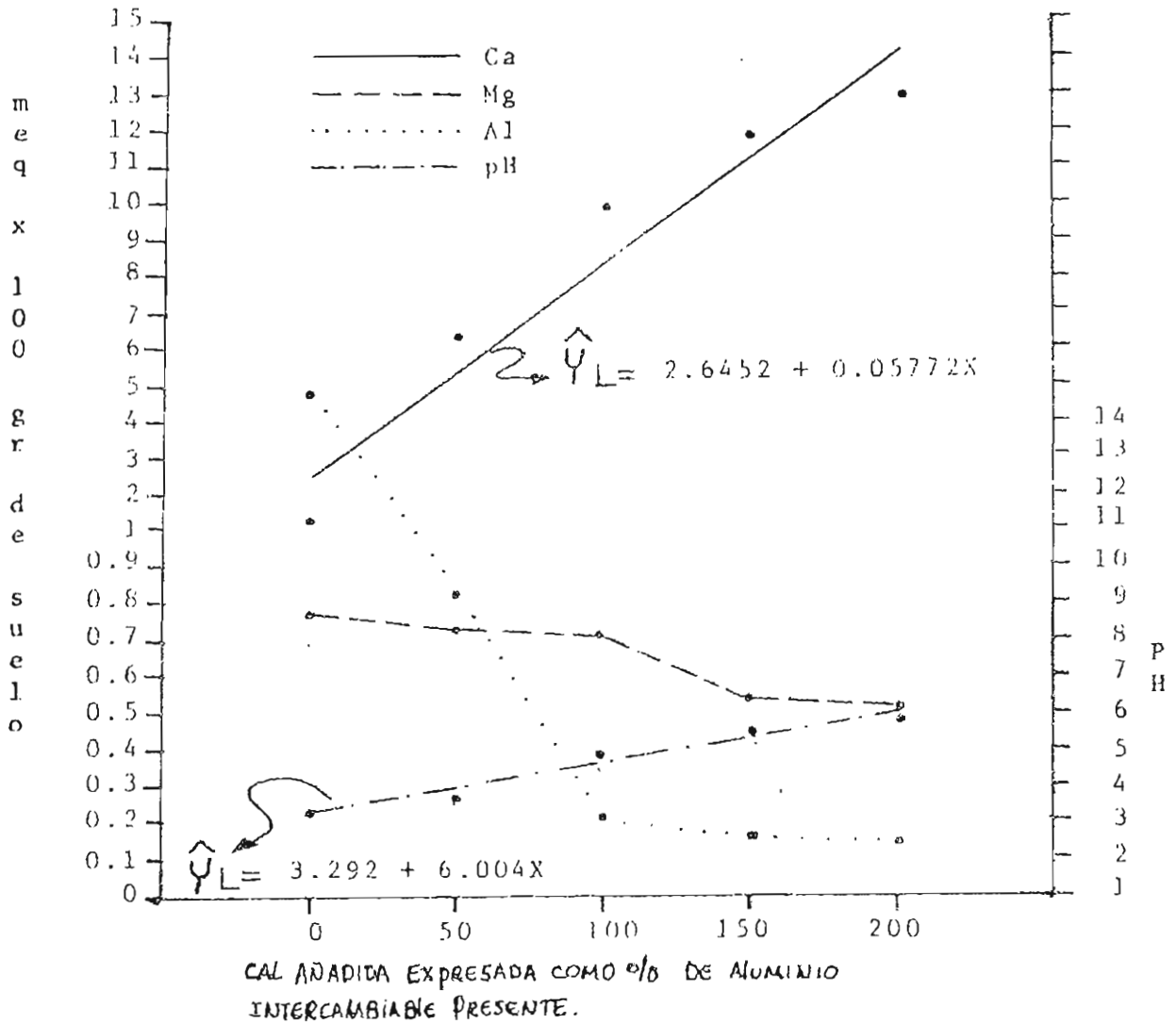


GRAFICO N° 1 EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y pH EN UN SUELO DE LA SERIE CBK. SEGUN EL METODO DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE

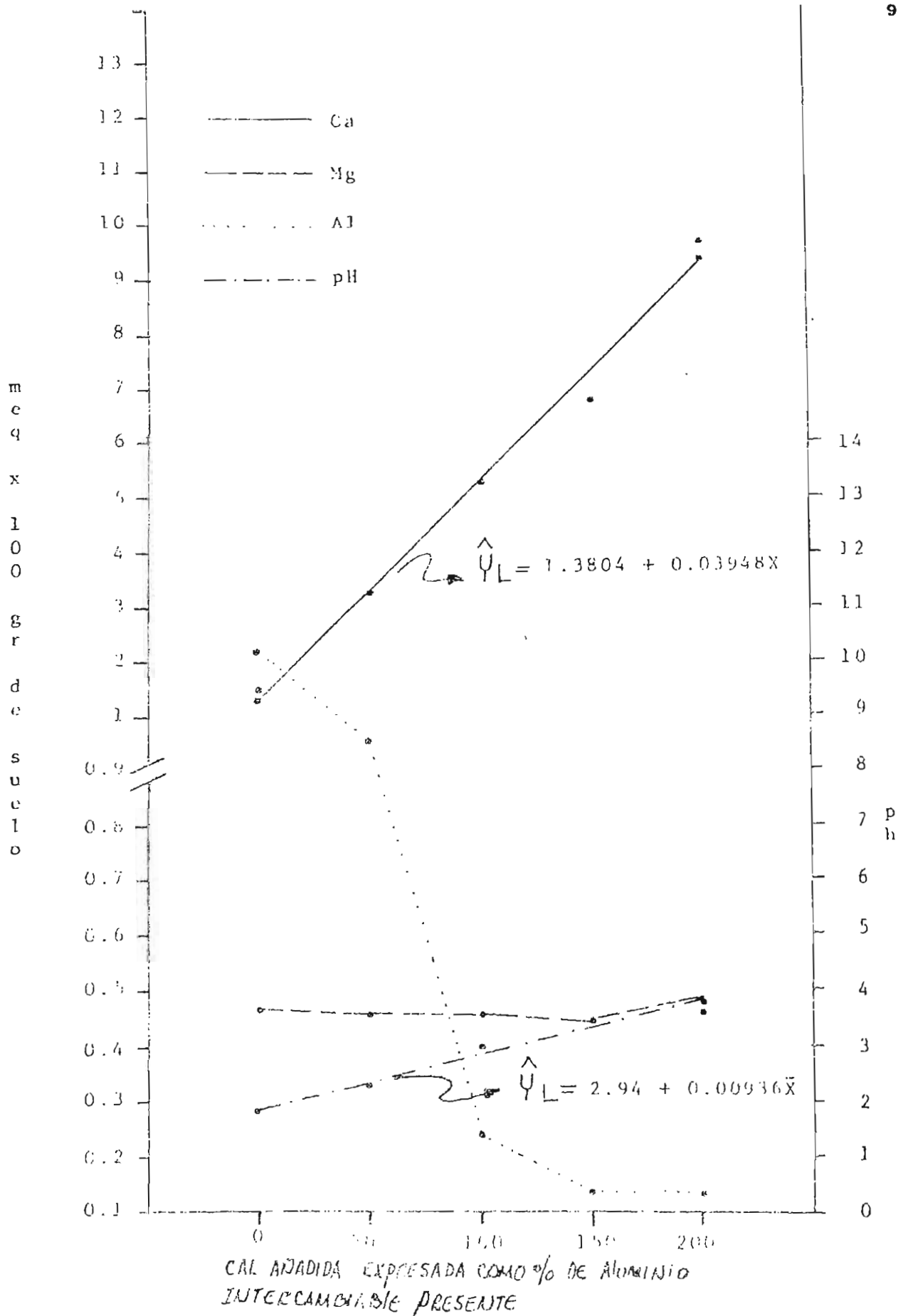
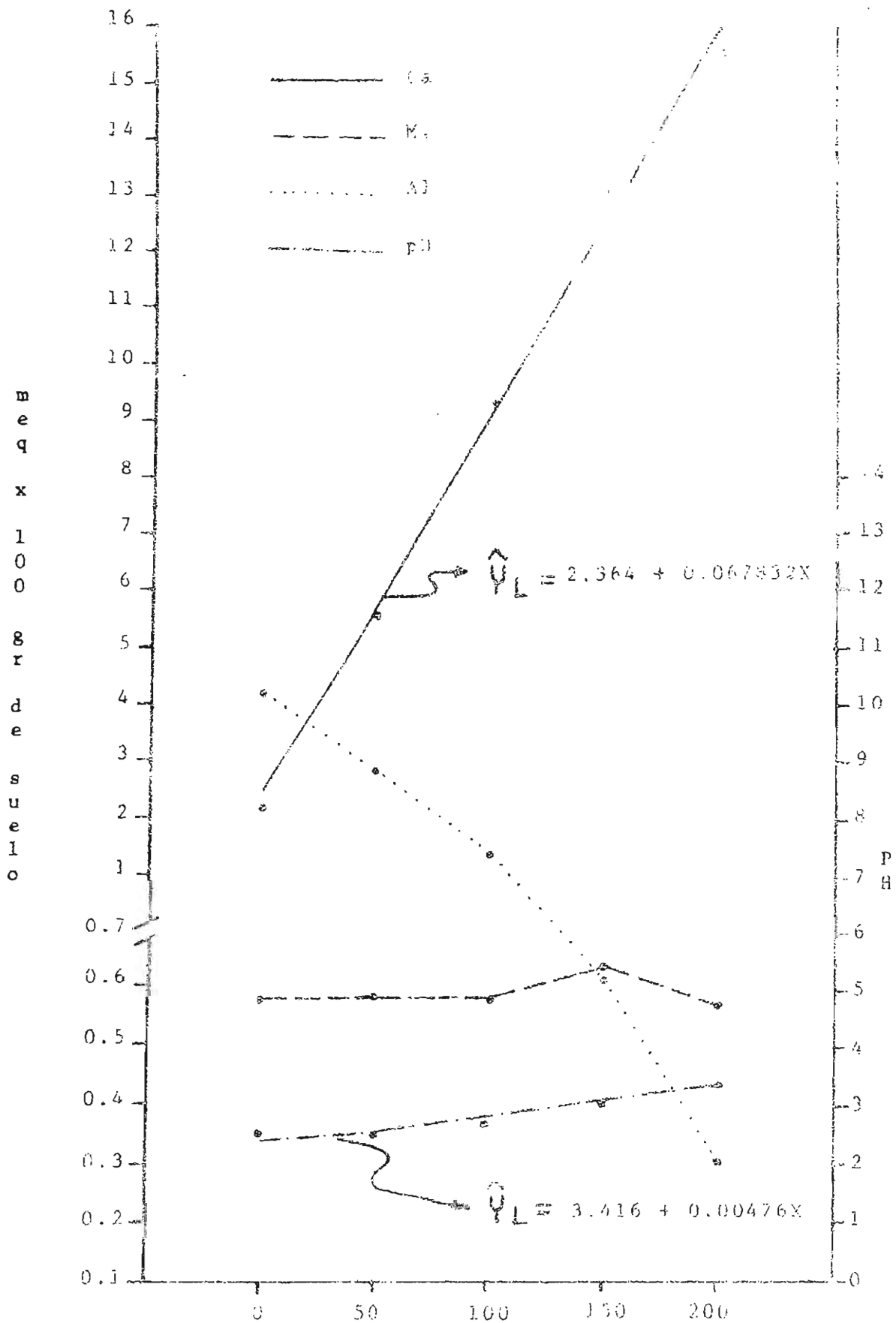
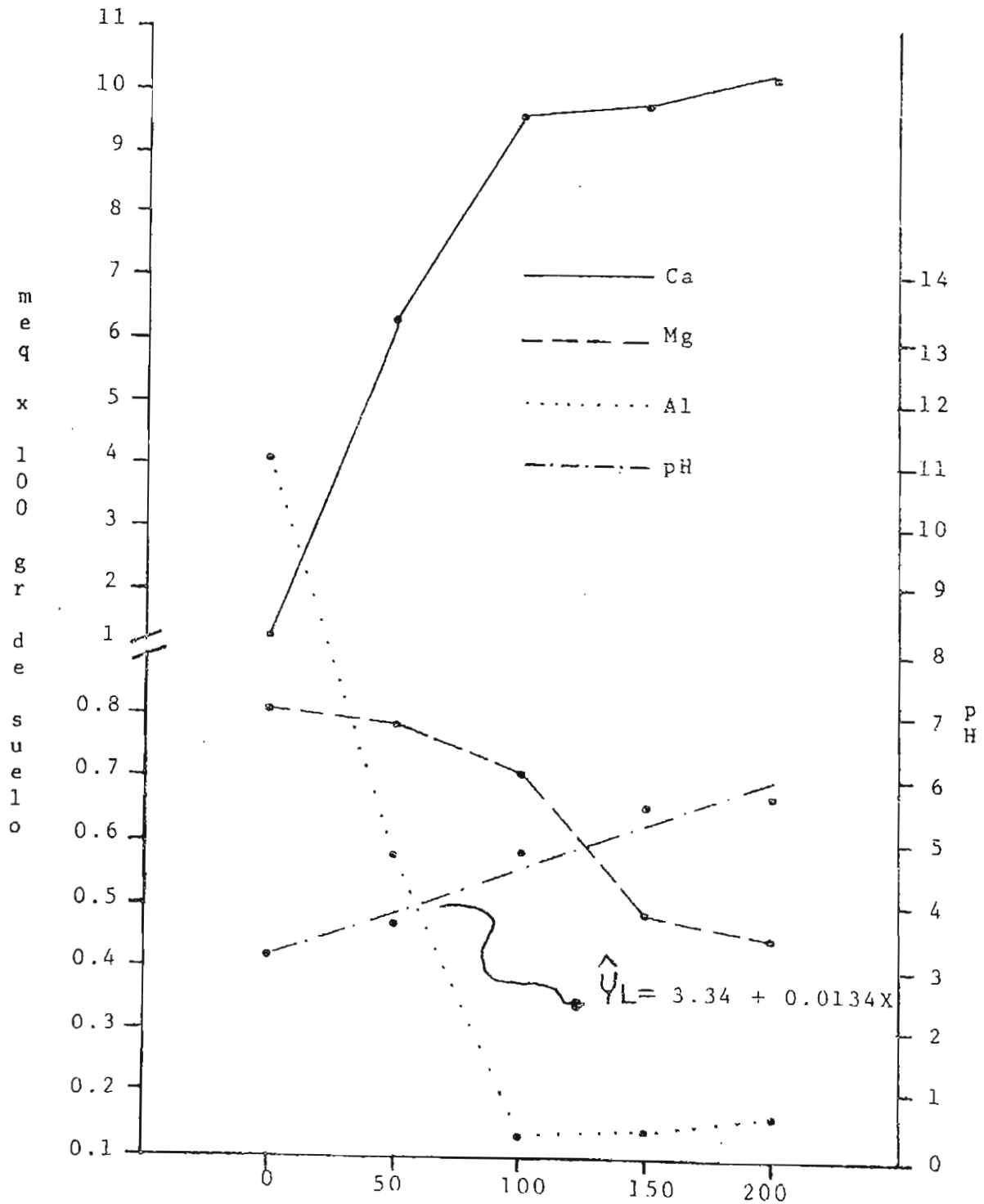


GRAFICO Nº 2 EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y PH EN UN SUELO DE LA SERIE APS SEGUN EL METODO DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE



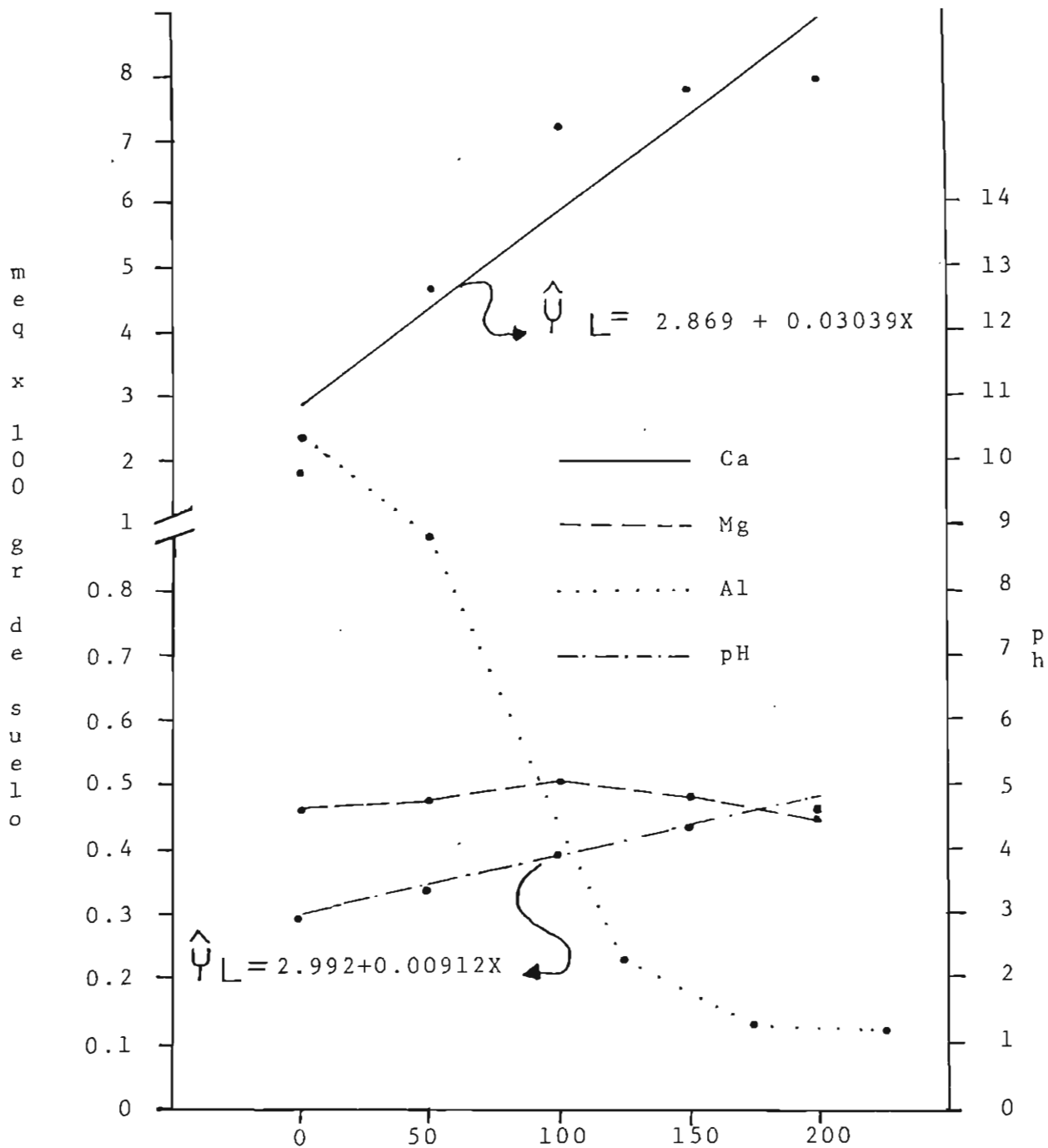
CAL AÑADIDA EXPRESADA COMO % DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE PRESENTE.

GRAFICO Nº 4 Efecto del calcinado en la contencion de Ca, Mg, Al y PH en el suelo de la U. de C. Aza como el método Aluminio Intercambiable.



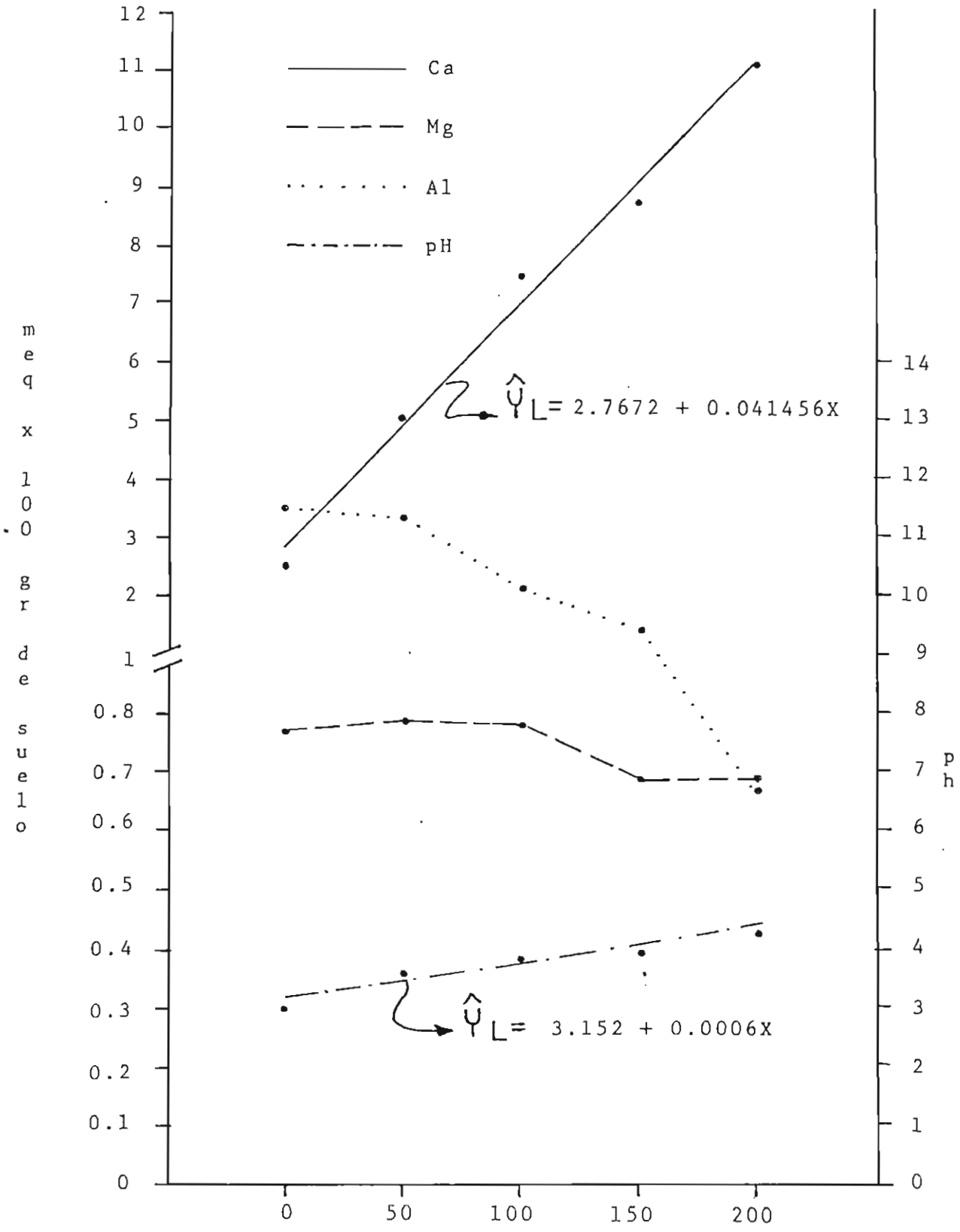
CAL AÑADIDA EXPRESADA COMO % DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE PRESENTE.

GRAFICO N° 5 EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y pH en un suelo de la serie Cbk, según el método de acidez extractable (Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup>)



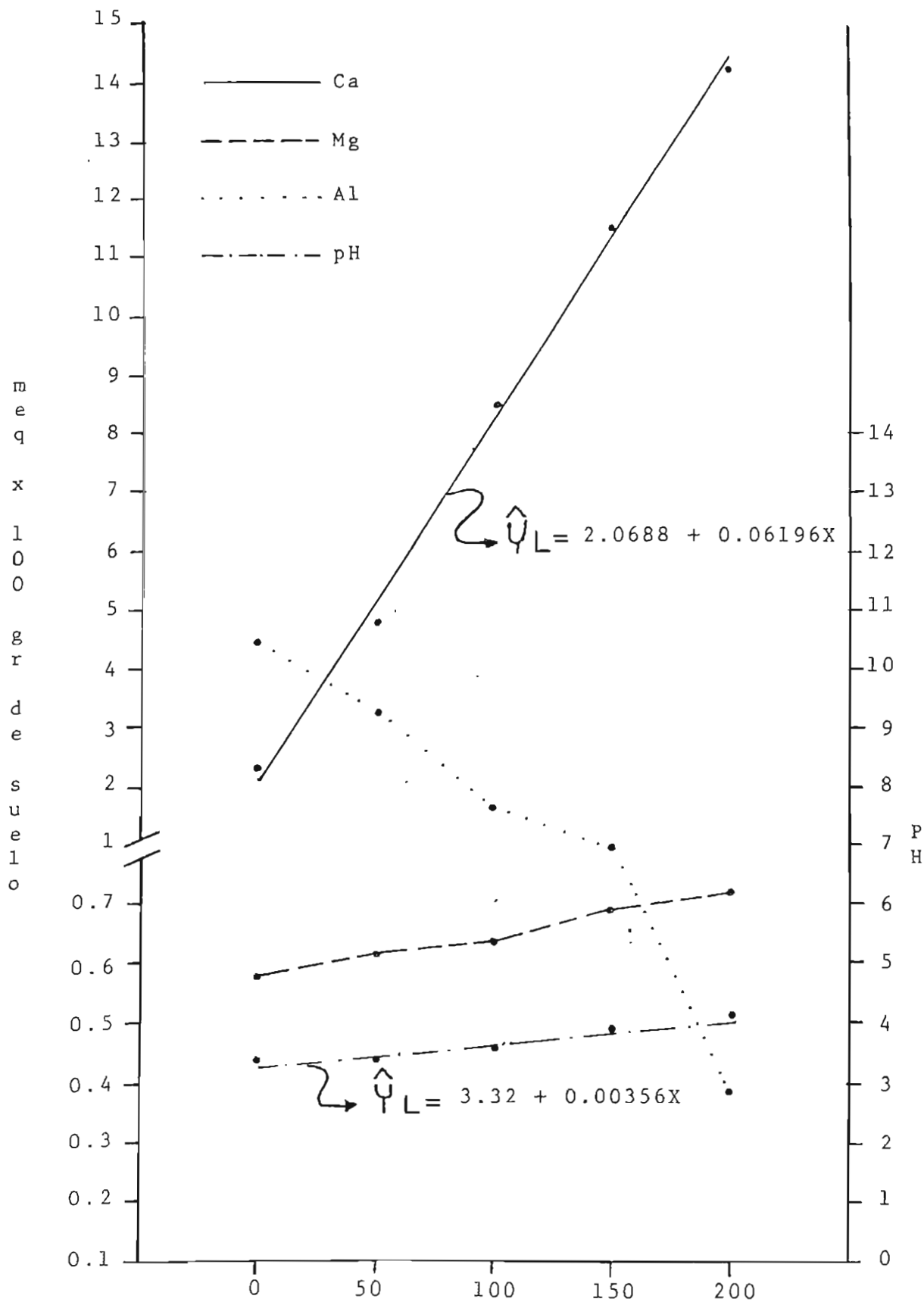
CAL AÑADIDA, EXPRESADA COMO % DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE PRESENTE.

GRAFICO N° 6 EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y pH EN UN SUELO DE LA SERIE Aps SEGÚN EL METODO DE ACIDEZ EXTRACTABLE ( $Al^{+3} + H^+$ ).



CAL AÑADIDA EXPRESADA COMO % DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE PRESENTE .

GRAFICO N° 7 EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y pH EN UN SUELO DE SERIE Sad SEGÚN EL METODO DE ACIDEZ EXTRACTABLE ( $Al^{+3} + H^+$ ).



CAL AÑADIDA EXPRESADA COMO O/O DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE PRESENTE -

GRAFICO Nº 8 EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y pH en un suelo de la Serie AZA SEGÚN EL MÉTODO DE ACIDEZ EXTRACTABLE ( $Al^{+3} + H^+$ )

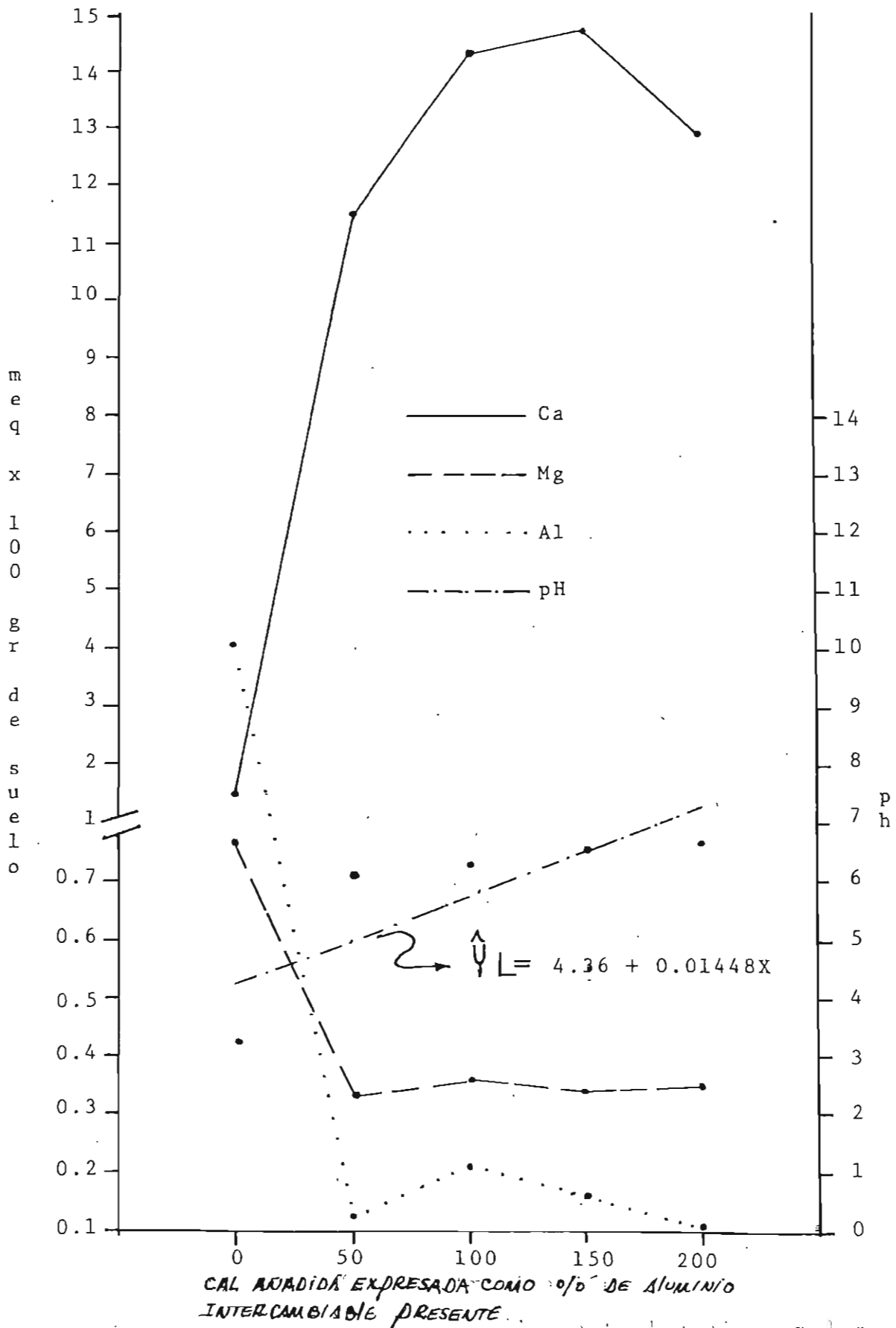
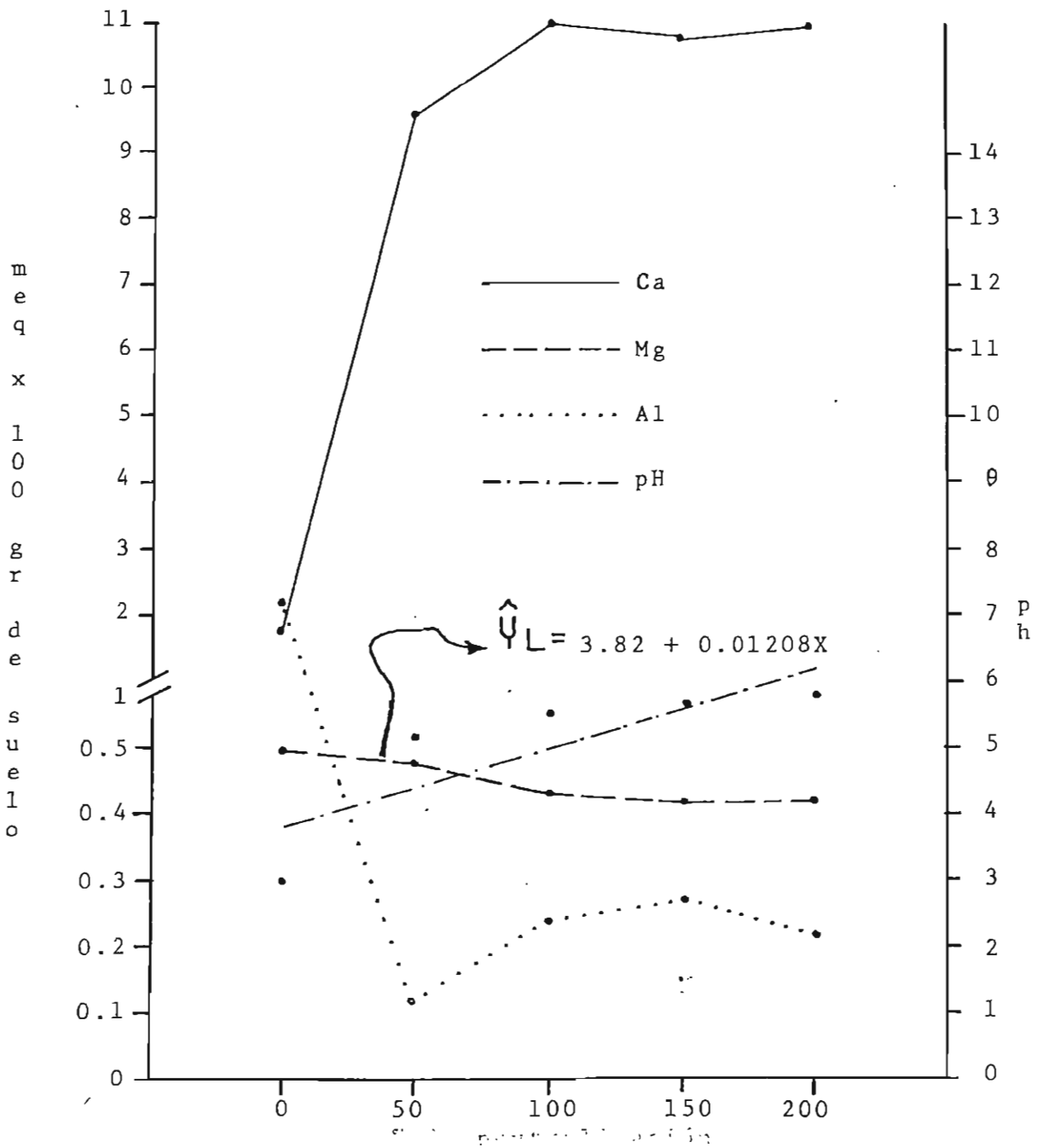
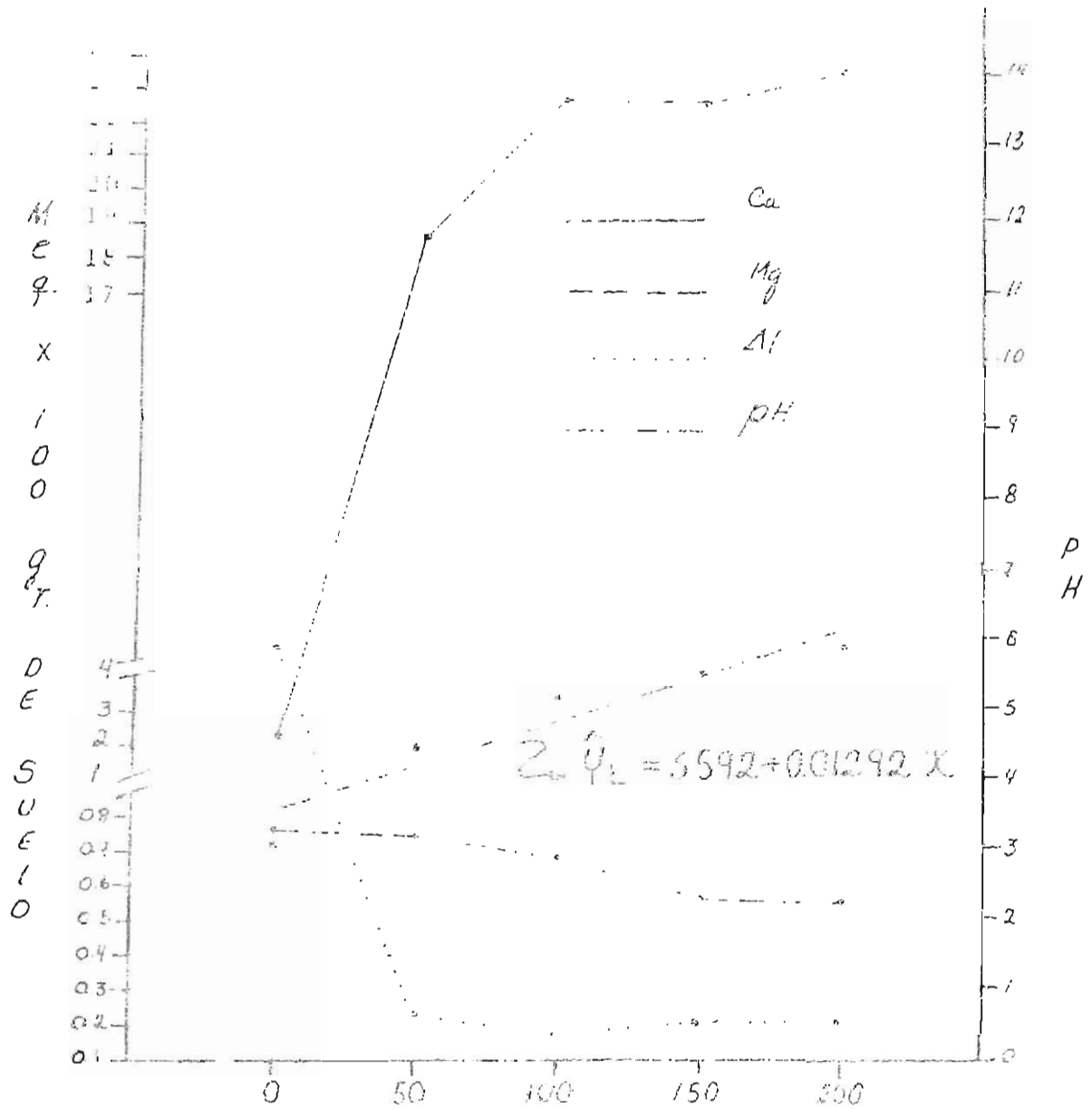


GRAFICO N° 9 EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y pH EN UN SUELO DE LA SERIE Obk SEGUN EL METODO DE MEHLICH MODIFICADO (BaCl<sub>2</sub>-TEA).



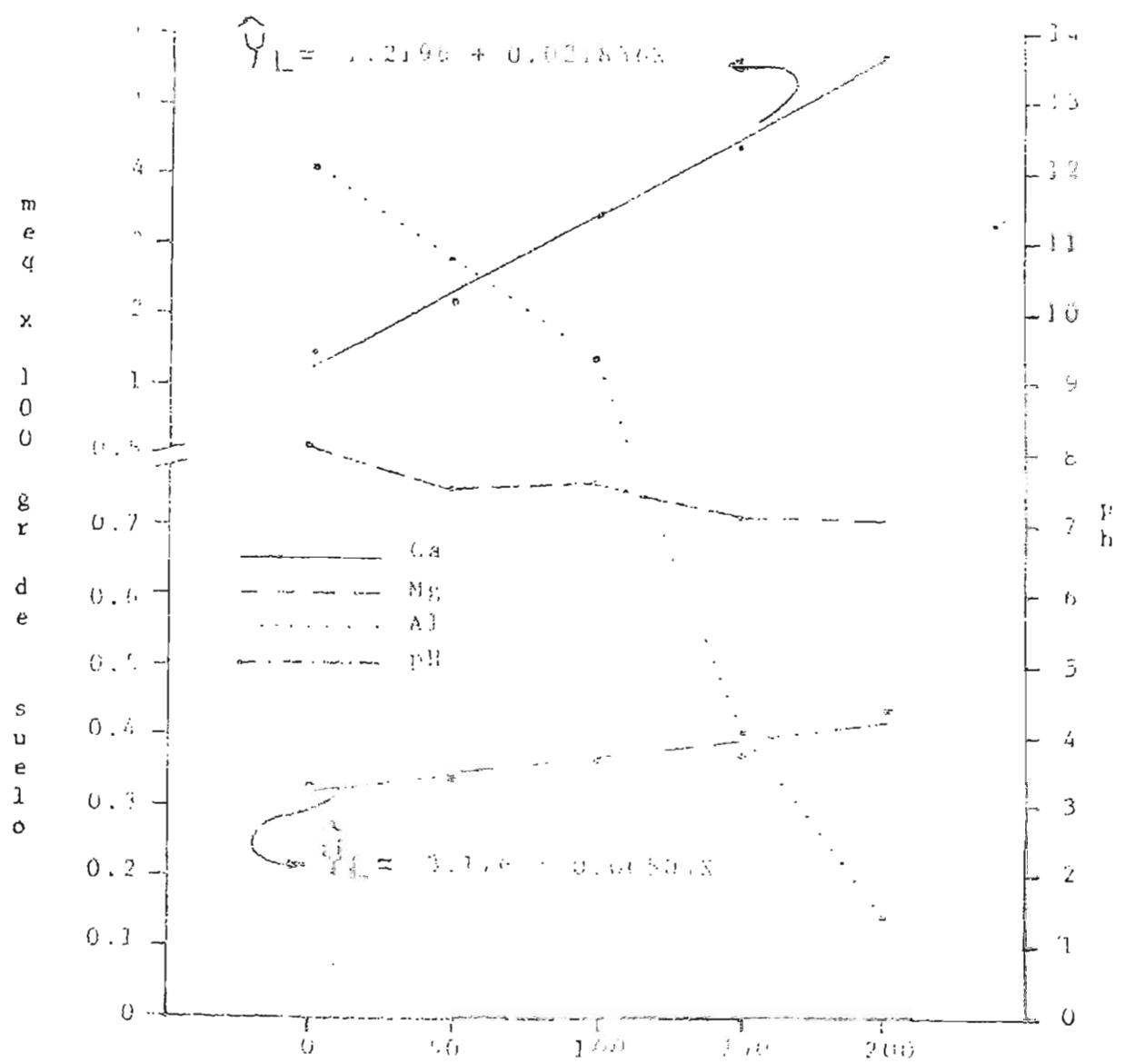
CAL AÑADIDA EXPRESADA COMO % DEL ALUMINIO  
 INTERCAMBIABLE PRESENTE en el suelo en  
 los contenidos de Ca, Mg, Al y pH  
 GRAFICO Nº 10 EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS  
 DE Ca, Mg, Al y pH EN UN SUELO DE LA  
 SERIE Aps SEGÚN EL METODO DE MEHLICH'S  
 MODIFICADO (BaCl<sub>2</sub> - TEA)



Ca AÑADIDA EXPRESADA COMO % DE ALUMINUMO INTERCAMBIABLE PRESENTE

GRAFICO N° 12

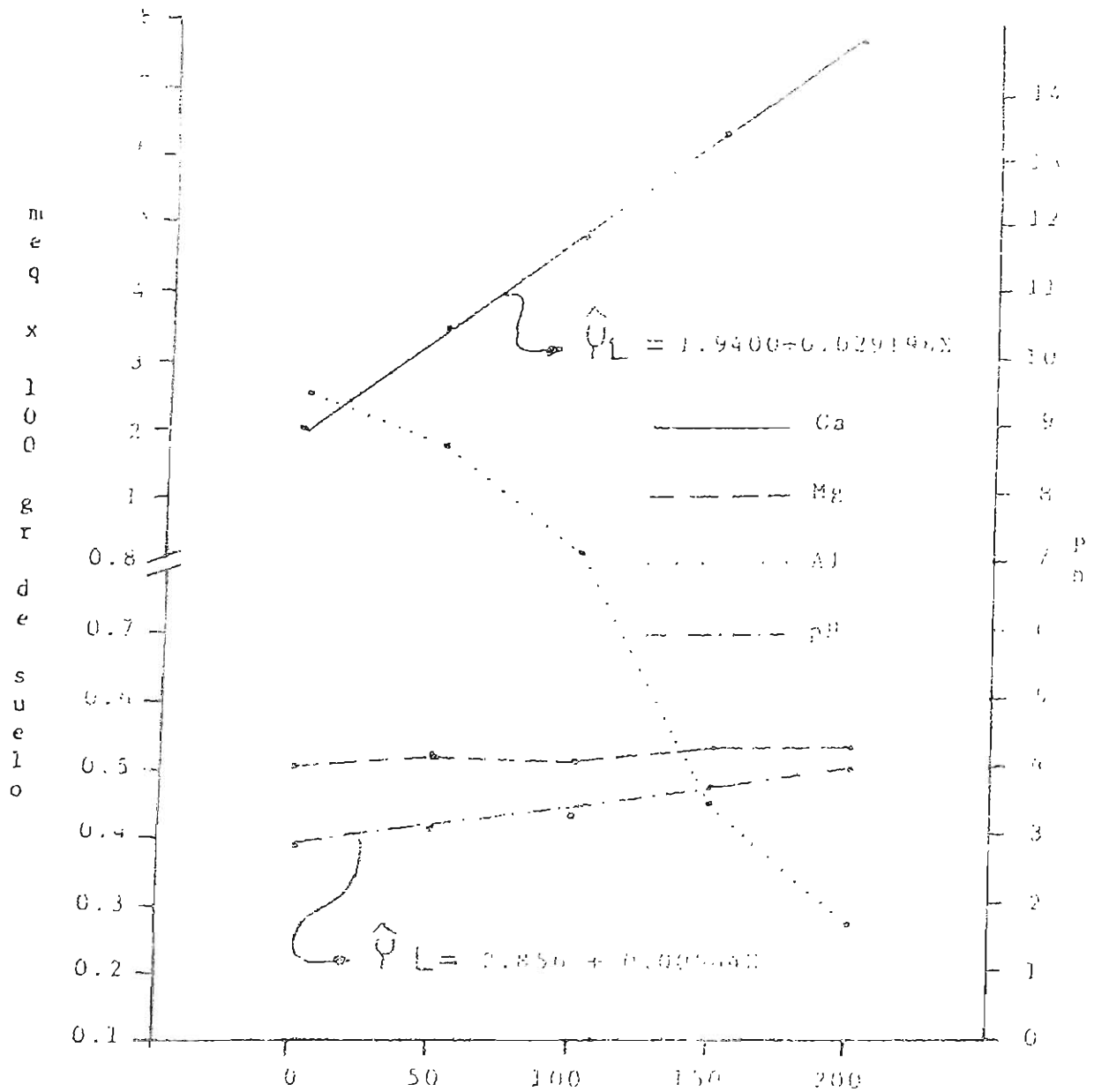
EFECTO DEL CALORADO SOBRE LAS CONCENTRACIONES DE Ca, Mg, Al y pH EN UN SUELO DE LA SERIE Aca. SUELO ALMEDANO MODIFICADO (CANTO-TEA)



CAL ANADIDA EXPRESADA COMO % DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE PRESENTE.

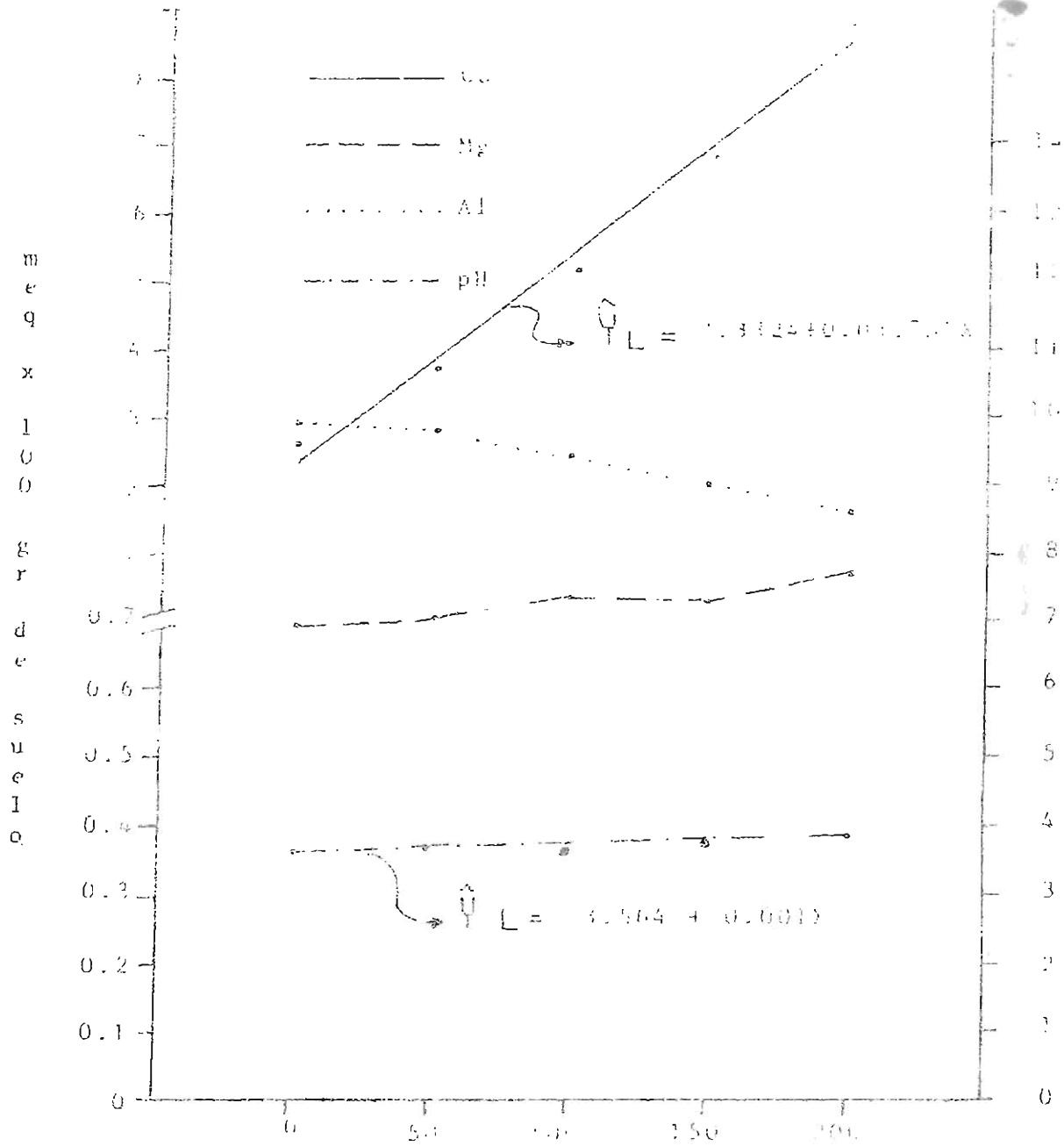
GRAFICO Nº 13

EFFECTO DEL ENLAGADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y PH EN UN SUELO DE LA SERIE C&Atilde;H SEGUN EL METODO DE INTERCAMBIO CATIONICO (METSOU).



CAL AÑADIDA EXPRESADA COMO % DEL ALUMINIO INTERCAMBIABLE PRESENTE.

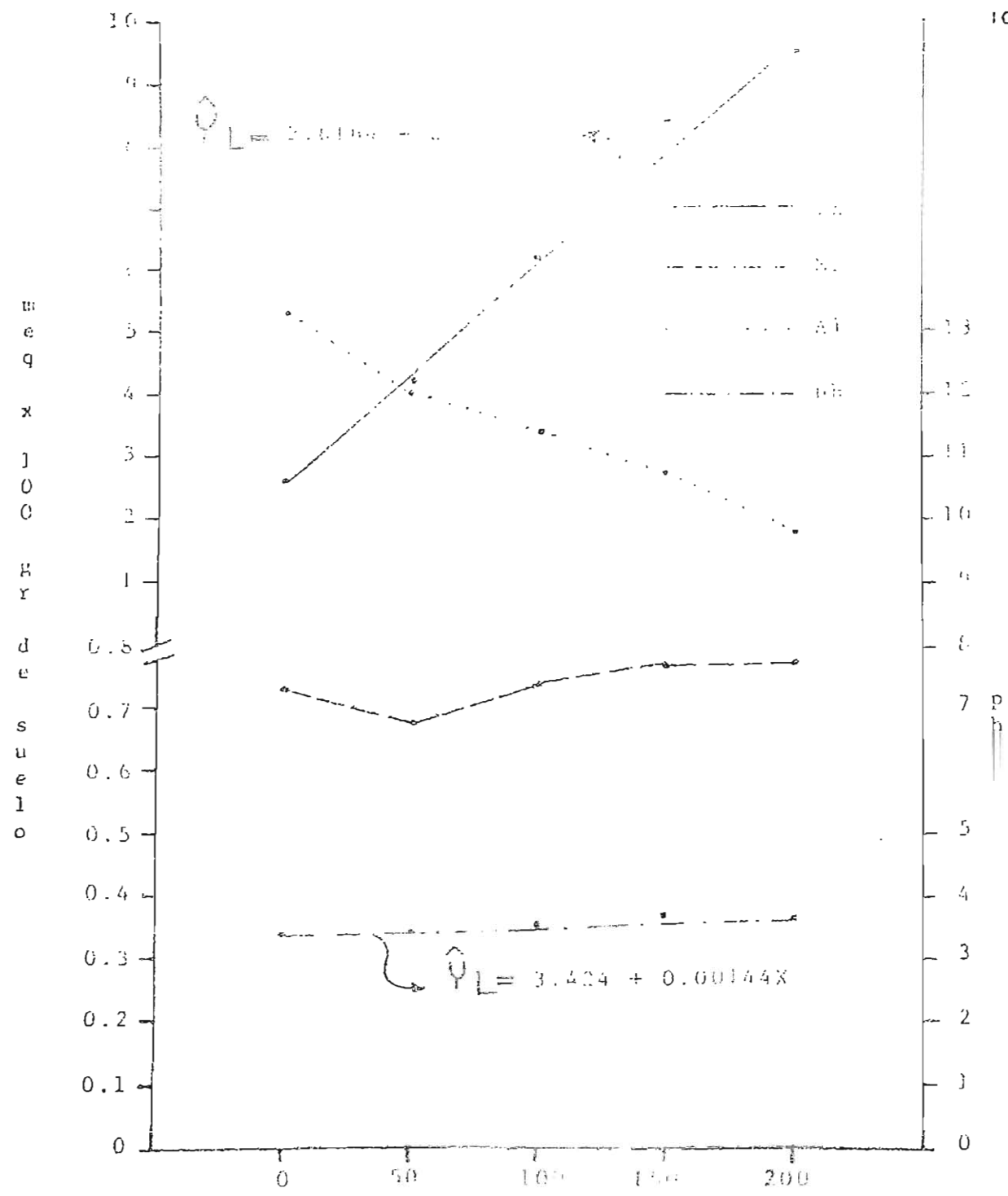
GRAFICO Nº 14. EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, AL y pH EN UN SUELO DE LA SERIE APS. SEGUN EL METODO INTERCAMBIO CATIONICO (METSON).



CAL AÑADIDA EXPRESADA COMO % DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE PRESENTE

GRÁFICO Nº 15

EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y pH en un suelo de la zona del Sur del método 3 INTERCAMBIO CATIONICO (METSCH)



CAL AÑADIDA EXPRESADA COMO % DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE PRESENTE

GRAFICO N° 16 EFECTO DEL ENCALADO EN LOS CONTENIDOS DE Ca, Mg, Al y pH EN UN SUELO DE LA SERIE ÁZEA SEGUN EL METODO INTERCAMBIO CATIONICO (MEISDA)