

14

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

Título del Tema: El efecto del pH sobre Capacidad de intercambio Catiónico en los suelos salino-sódicos del vaso del ex-Lago de Tezcoco.

18

Nombre del sustentante: María del Carmen Alvarez Avila.

Carrera: Ingeniería Química.

Año: 1976.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

CLAS. Tesis

ADQ. 1974

FECHA

PROC. Mc 7 22



Presidente: Enrique Villareal Domínguez

Vocal: Manuel Buenrostro

Secretario Guadalupe Alonso Viveros

1er. Suplente Mayo Martínez Kahn

2do. Suplente Antonio Reyes Chumacero

Sitio donde se desarrolló el tema: Rama de Riego y Drenaje  
Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

Nombre completo y firma del sustentante: María del Carmen -  
Alvarez Avila.

Nombre completo y firma del asesor del tema: Enrique --  
Villarreal Domínguez

The image shows a handwritten signature in black ink. The signature is written on a horizontal line that has a small vertical tick mark on its right side. The name 'Villarreal' is clearly legible, followed by 'Domínguez'. There are some additional scribbles and a small circle above the 'l' in 'Villarreal'.

## CONTENIDO

Pág.

I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS.	4
III. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
1. En que consiste la capacidad de intercambio catiónico en los suelos y cuáles son las leyes que lo rigen.	5
2. El pH del suelo y su influencia en la de terminación de la capacidad de intercambio catiónico.	24
3. Manejo, control y combate de los problemas de ensalitramiento en los suelos.	29
IV. MATERIALES Y METODOS.	
1. Determinaciones del pH del suelo a diferentes PS y utilizando distintos pH en la solución extractora para iones solubles	46
2. Determinación de la CE a diferentes PS y pH.	48
3. Determinación de la concentración de iones solubles en cada PS y para cada pH.	49
4. Efectos del volumen de solución extractora utilizada para la evaluación de iones intercambiables y de solución lavadora para la determinación de CIC.	53
5. Influencia del pH en la valoración de los iones intercambiables y en la capacidad de intercambio catiónico	54.
6. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	55
V. RESULTADOS Y DISCUSION	
1. Valores del pH del suelo contra pH de la solución extractora.	56
2. Relación entre el PS y la concentración de los iones solubles a diferentes pH.	57

	Pág.
3. Relación entre el pH y la concentración de los iones solubles a diferentes PS.	57
4. Efecto del pH en la CIC.	64
5. Influencia del PS en la determinación - del $\text{Na}_S$ a diferentes pH.	65
6. Determinación de PSI a diferentes PS y pH.	66
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
VII. BIBLIOGRAFIA.	70
ANEXOS.	

## INTRODUCCION

El hombre depende del suelo y, en cierto modo, los suelos buenos dependen del hombre y del uso que se hace de ellos. Los suelos constituyen el medio natural en que las plantas crecen. El hombre goza y usa de estas plantas tanto por su belleza como por su capacidad en procurarle fibras y alimentos para él y sus animales. Su verdadero nivel de vida está determinado, frecuentemente, por la calidad de los suelos.

Las grandes civilizaciones han tenido, casi invariablemente, buenos suelos como uno de sus grandes recursos naturales. Además, estas civilizaciones han continuado - siendo opulentas mientras han cultivado adecuadamente sus suelos. La desaparición de las grandes naciones que utilizaron los valles del Trigrís, Eufrates y Nilo, coincide con el deterioro del suelo y abandono de sus prácticas para el uso y conservación del agua de estos ríos.

Incluso en nuestro país, una explotación inadecuada y mal hecha ha causado grandes perjuicios a los suelos y ha llamado nuestra atención al necesitar sólidas medidas para conservar y mejorar sus recursos.

La reacción de intercambio catiónico, es la segunda

por su importancia en la naturaleza y solamente es superado por el proceso de fotosíntesis realizado por las plantas verdes (28).

(El intercambio catiónico en los suelos ha sido desde hace tiempo, una cuestión de sumo interés. Ya que los coloides del suelo, arcilla y humus presentan intercambio catiónico.

Al principio del siglo pasado se efectuaron las primeras observaciones del fenómeno de adsorción y de cambio de iones, al notar que ciertos compuestos químicos, puestos en presencia del suelo, quedaban fijados, y que a veces, esta fijación ocasionaba la liberación por el suelo, de otros compuestos.

Desde mediados del siglo pasado, se habían hecho algunas observaciones fundamentales:

- 1). Adsorción total, por el suelo, de amoniaco en estado de álcali libre.
- 2). Liberación, por el suelo, de iones calcio en cantidad correspondiente a los equivalentes gramos de amonio aportados bajo forma de sales.
- 3). Mecanismo sensiblemente análogo de la adsorción o del cambio de iones haciendo intervenir otras bases a sus



sales en el lugar del amonio: potasio, sodio, calcio, magnesio.

- 4). Rápidez del fenómeno, que es atraído desde la puesta en contacto con el suelo de la solución alcalina o salina.
- 5). Intensidad variable del fenómeno con la textura del suelo.
- 6). Limitación, para cada suelo, de la intensidad del fenómeno a un nivel con relación a su textura. l

El carácter reversible de los cambios de iones es reconocido, atribuyéndose a una doble descomposición.

Desde hace 30 años gracias a las propiedades de intercambio de iones que presentan las zeolitas y algunas resinas sintéticas se ha podido estudiar más detalladamente - este fenómeno y aún más por el empleo, reciente, de trazadores radioactivos lo que ha hecho determinar el mecanismo del fenómeno y las leyes que lo rigen.

## II. OBJETIVOS

El objetivo principal que se fijó para el desarrollo del presente trabajo fué el de revisar los métodos en las determinaciones de capacidades de intercambio catiónico, haciendo variar el potencial hidrógeno (pH) y el porcentaje de saturación (PS) para de esta manera observar que -- cambios se pueden encontrar en dichas determinaciones y -- por lo tanto evaluar las fallas cometidas y determinar como estas pueden afectar los resultados al resolver un problema práctico.

Esta observación se considera importante debido a - que si determinamos erróneamente la C.I.C. no se sabrá - cual será la situación real del suelo y por lo tanto se - cometerán errores en la aplicación de mejoradores, ferti- lizantes, y en la selección de cultivos en suelos salino- sódicos, que son sobre los cuales se efectuó el presente estudio.

### III. REVISION BIBLIOGRAFICA

1. En que consiste la capacidad de intercambio catiónico en los suelos y cuales son las leyes que lo rigen.

Las partículas del suelo adsorben y retienen cationes a consecuencia de las cargas eléctricas que existen en la superficie. Una vez que los cationes adsorbidos se han combinado químicamente con el suelo, pueden ser reemplazados por otros cationes que se encuentran en la solución del suelo. Esta reacción, según la cuál un catión en solución reemplaza a un catión adsorbido se llama intercambio cationico

Los cationes de sodio, calcio y magnesio son rápidamente intercambiables. Otros cationes como el potasio y el amonio pueden quedar retenidos en determinada posición sobre las partículas del suelo, de manera que se intercambian con gran dificultad, o no se intercambian, diciéndose entonces que se han fijado.

El intercambio de cationes es un fenómeno de superficie y como tal, se identifica principalmente con el limo-fino, la arcilla y otras fracciones de materia orgánica de los suelos. Muchas clases de diferentes minerales y materiales orgánicos poseen propiedades de intercambio, - conociéndose en conjunto como complejo de intercambio.

La capacidad de un suelo para adsorber e intercambiar cationes se puede medir y expresar en miliequivalentes - por unidad de peso de suelo.) Varios factores físicos y químicos obran conjuntamente para hacer que el valor medio dependa en parte del método de determinación, sin embargo, la capacidad de intercambio es una propiedad - del suelo razonablemente definida y de considerable importancia práctica. En vista de que los cationes adsorbidos pueden intercambiar libremente con los cationes adyacentes en la solución del suelo, es de esperarse que la proporción de los diferentes cationes en el complejo intercambiable esté relacionado con su concentración en la solución del suelo.

El calcio y el magnesio son los principales cationes que se encuentran en la solución del suelo y en el complejo de intercambio de los suelos normales de las regiones áridas. Cuando en estos suelos se acumula un exceso de - sales solubles, generalmente ~~es~~ el catión sodio es el que predomina en la solución del suelo siendo una parte del - calcio y del magnesio intercambiables reemplazados por el sodio.

Desde el punto de vista práctico, es afortunado que los cationes calcio y magnesio en la solución del suelo - sean más fuertemente adsorbidos que el sodio, por el complejo de intercambio. En soluciones de concentraciones -

equivalentes las cantidades adsorbidas de calcio y magnesio son varias veces la del sodio. En general, más de la mitad de los cationes solubles debe ser sodio antes de que sean adsorbidos cantidades de importancia por el complejo de intercambio. Sin embargo, en algunas soluciones de suelos sabemos prácticamente que todos los cationes son sodio, por lo que es el catión adsorbido predominantemente.

La determinación de la capacidad del intercambio cationico en los suelos depende de:

- a). La medida de dicha capacidad por parte de los suelos y de los coloides de los suelos.
- b). La determinación de la cantidad total de cationes metálicos intercambiables y el tanto por ciento de saturación de intercambio en los suelos.
- c). La medida del porcentaje de saturación con cationes alcalinos.
- d). La medida de hidrógeno intercambiable.

Los minerales del suelo y las partículas orgánicas coloidales tienen cargas negativas predominantemente cuando el pH del suelo es mayor de 7, lo que les permite retener cationes disociables y son, por tanto, electrólitos coloidales.

La capacidad de intercambio de los cationes varía se gún la naturaleza del catión empleado, la concentración - de la sal y el pH de equilibrio.

El calcio puede considerarse como patrón a causa de que es el catión metálico intercambiable más abundante en la mayoría de los suelos, cuando el pH es de 8.4-7. El potasio tiene la ventaja sobre el calcio de que es más sensible - para su determinación, teniendo además menos tendencia - que el sodio a producir dispersión de los suelos. La fi- jación del potasio y el amonio por la vermiculita hace - que la capacidad de intercambio con estos iones sea menor que con los iones que no son fijados.

( Los constituyentes superficiales activos de los sue- los que tienen propiedades de intercambio de cationes se llaman en conjunto "complejo de intercambio" y consiste - en su mayor parte de coloides minerales y coloides orgáni- cos. ) La cantidad total de cationes intercambiables que - un suelo puede retener se denomina capacidad de intercam- bio catiónico" ) y generalmente se expresa en miliequivalen- tes por 100 gramos de suelo.

Los cationes intercambiables influyen de una manera determinante en las propiedades físicas y químicas del - suelo. Cualquier solución que sea capaz de desplazar los

cationes intercambiables de los suelos, disuelve casi todo el total de sales solubles así como una buena proporción de carbonatos de calcio y magnesio si se encuentran en el suelo. Las sales solubles no deben lavarse del suelo antes de la extracción de los cationes intercambiables, debido a cambios de importancia que suceden como consecuencia de dilución e hidrólisis. Por lo tanto, la disolución de las sales requiere determinaciones independientes del contenido de cationes solubles y que además, se corrija el análisis de cationes intercambiables por la presencia de sales, pues la existencia de carbonatos de calcio y magnesio impide una exacta determinación de calcio y magnesio intercambiables. Aún más, la baja permeabilidad de muchos suelos alcalinos vuelve inconvenientes las técnicas convencionales para desplazar los cationes intercambiables.

La solución normal de acetato de amonio es la solución salina que más se recomienda para la extracción de los cationes intercambiables, y para la saturación del complejo de intercambio en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico.

Existe un gran número de métodos para la determinación de la capacidad de intercambios de los electrólitos coloidales formados por diferentes combinaciones de trata

mientos, previos procedimientos de lavado de catión, sal, disolvente y técnica de determinación de los cationes.

Debido al equilibrio que existe en el suelo entre los cationes solubles y los intercambiables los cambios en la concentración relativa y total de los cationes solubles (son variaciones del contenido de humedad), van acompañados de otros cambios en la composición relativa de los cationes intercambiables. Por lo que los valores del contenido de los cationes intercambiables así obtenidos, se aplican únicamente para el contenido de humedad, que se usó en la extracción de los cationes solubles. Se recomienda determinar el contenido de cationes intercambiables con el porcentaje de saturación.

Las partículas coloidales, sin atender a su composición, están constituidas de un radical complejo negativo (la micela) y un conjunto de cationes adsorbidos. Pudiendo representarlo de la siguiente forma.



Esto nos indica que las arcillas y sus iones asociados intercambiables, pueden ser considerados como sales complejas ácidas. En donde los radicales cargados negativamente, están asociados con cationes metálicos y con hidrógeno (yH).



Si los cationes metálicos son reemplazados por iones hidrógeno, se forma una arcilla ácida. Dependiendo del tipo de coloide (coalinita, montmorillonita, humus, etc.), pueden observarse diferentes tipos de ácidos.

En la inmediata vecindad de la superficie de las partículas coloidales se acumulan los iones de carga contraria; con ello se forma un gradiente de concentración de los mismos y como consecuencia un gradiente de potencial.

De esta forma se origina una zona de cargas que se llama capa difusa.

Esta capa se le ha llamado doble por estar formada por una capa de cargas electrostáticas negativas pertenecientes al coloide y otra de cargas electrostáticas positivas formada por iones; y es difusa, por que la capa más externa va difundiéndose a medida que aumenta la distancia a partir de la partícula hasta llegar a una constante de equilibrio.

A partir de la ecuación de la doble capa Eriksson, -

derivó una ecuación para estudiar la adsorción de los iones Na y Ca en soluciones. Esta ecuación muestra la fracción de la carga de los iones monovalentes totales en una doble capa difusa en función de la concentración de los iones monovalentes y divalentes en la solución del suelo. La ecuación tal y como fué simplificada por Bolt es:

$$\frac{\Gamma_1}{\Gamma} = \frac{r}{\Gamma\sqrt{\beta}} \operatorname{sen} h^{-1} \frac{\Gamma\sqrt{\beta}}{r+4V_c \sqrt{c_2}}$$

donde  $\Gamma$  es la densidad de carga superficial del intercambiador en meq/cm<sup>2</sup>; la relación  $\frac{\Gamma_1}{\Gamma}$  es la fracción de la carga superficial neutralizada por cationes monovalentes

$$r = \frac{c_1}{\sqrt{c_2}} = (\text{moles/l})^{\frac{1}{2}}$$

donde  $c_1$  y  $c_2$  son las concentraciones molares de los cationes monovalentes y divalentes respecto

$$V_c = 1 \quad \beta = 1.06 \times 10^{15} \text{ con milimol a } 25^\circ\text{C}$$

La adsorción de cationes ocurre en el complejo de intercambio catiónico, que está formado de coloides minerales, orgánicos y orgánico minerales.

El tipo y la cantidad de los cationes adsorbidos influyen grandemente en las propiedades físicas y químicas

de los suelos, ya que el calcio,  $\text{Ca}^{++}$ , y el sodio,  $\text{Na}^+$ , - tienen una importancia muy grande en la estructura de los suelos.

El  $\text{Ca}^{++}$  siendo un buen coagulante favorece la formación de flóculos, permitiendo con ésto que el suelo tenga una estructura granulada. Siendo la acción del  $\text{Na}^+$  completamente a la inversa en la formación de la estructura. Debido a que el  $\text{Na}^+$  se desocia en mucho mayor grado de la superficie coloidal que el  $\text{Ca}^{++}$ , en la capa difusa aparecen más iones de  $\text{Na}^+$  que de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , etc.

Cuando el  $\text{Na}^+$  es el ión dominante en la capa difusa, la carga de las partículas coloidales no se neutraliza totalmente y éstas se repiten mutuamente, a este proceso y fundamentalmente cuando las partículas del suelo se transforman en unidades independientes (originadas de un mismo cristal) se le conoce como dispersión. Al mismo tiempo alrededor del  $\text{Na}^+$  y los coloides aumenta la hidratación de los cationes. El aumento, la repulsión y hidratación favorecen a la peptización de los coloides del suelo.

Se ha demostrado que cuando la doble capa difusa se encuentra saturada de cationes divalentes, es más comprimida que cuando lo está con cationes monovalentes; por lo que esto explica el mecanismo floculante de los cationes

divalentes.

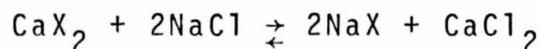
Los cationes divalentes son atraídos a la superficie cargada con una gran fuerza electrostática. La concentración de sales en la solución también tiende a comprimir - la doble capa difusa debido a la pequeña difusión de iones de la superficie hacia la solución (46).

Es importante señalar que la capa difusa de iones - existe solamente en un suelo húmedo. Si el suelo está seco, entonces los iones de la capa difusa pasan a la capa fija de Helmholtz. La cantidad de iones en la capa difusa y el espesor de esta capa dependen de muchos factores, en particular de la naturaleza química de las moléculas - que se encuentran en la superficie de los coloides, de la disociación de éstos en iones, de la reacción del medio, de la humedad del suelo, del contenido de materia orgánica y de la concentración de la solución del suelo. También se debe hacer notar que, inclusive una pequeña cantidad de cationes en la capa difusa muestra una gran influencia en las propiedades físico-químicas de los suelos.

Entre más extendida es la capa difusa, la carga sin neutralizar de las partículas coloidales es mayor y viscosa. Si la carga sin neutralizar de las partículas coloidales es alta, entonces éstas se repiten mutuamente, - el suelo se dispersa y se hace más plástico. Un suelo --

con buena estructura tiene partículas coloidales con pequeña carga residual y esto trae como consecuencia que las propiedades agrofísicas de los suelos sean buenas, es decir que el suelo no se disperse, que la fracción arcillosa no tenga movilidad en perfil y que el agua se infiltre fácilmente entre los poros.

El intercambio de cationes puede representarse mediante ecuaciones similares a las que se emplean para las reacciones químicas en las soluciones. Por ejemplo, la reacción entre un suelo saturado con calcio y una solución de cloruro de sodio se puede escribir en la siguiente forma:



en la cual x representa el complejo de intercambio del suelo. La reacción no es completa debido a que en tanto exista calcio soluble en la solución, éste será adsorbido por el complejo de intercambio y viceversa. Se han propuesto varias ecuaciones para expresar en el equilibrio, la distribución de pares de cationes entre las formas intercambiables y las formas solubles. Cuando se trata de pares de cationes metálicos de igual valencia, muchas de las ecuaciones adquieren la misma forma y dan constantes satisfactorias de equilibrio; sin embargo, se obtienen resultados variables con las diferentes ecuaciones cuando -

se trata de cationes con valencia diferente según el trabajo de Krishnomoortly y Overstreet (13), una ecuación basada en la estadística termodinámica de Guggenhena (16) - es la más satisfactoria para pares de cationes con valencia diferente. Todas las ecuaciones se vuelven menos satisfactorias cuando se aplican a mezclas de materiales de intercambio catiónico que tienen constantes de equilibrio diferente que en el caso de los suelos.

Los corchetes [ ] representan mols adsorbidos por unidad de peso del intercambiador, los paréntesis ( ) representan la actividad de los iones en solución, en equilibrio con el intercambiador.

$$K = \frac{[Na^+]^2}{[Ca^{++}][Na^+ + 1.5Ca^{++}]} \cdot \frac{(Ca^{++})}{(Na^+)^2}$$

La ecuación se basa en consideraciones estadísticas, según las cuales todos los cationes intercambiables quedan retenidos muy cerca de las cargas fijas de las "superficies".

El uso de las ecuaciones de intercambio catiónico para expresar la relación entre los cationes solubles e intercambiables de los suelos de regiones áridas, trae consigo ciertas dificultades propias que se originan debido a la presencia de mezclas de diferentes clases de materia

les de intercambio catiónico y a que, en general, hay que tratar con cuatro diferentes cationes. Es más, no existen por ahora métodos exactos para determinar el calcio y el magnesio intercambiables en suelos que contienen carbonatos y metales alcalino-terreos y yeso. A pesar de estas dificultades, se ha obtenido cierto éxito al relacionar las concentraciones relativas y totales de cationes en el extracto de saturación de los suelos con la composición de intercambio catiónico, mediante la aplicación de métodos más o menos empíricos. Las determinaciones directas muestran que cuando los suelos son lavados con soluciones de sales que contienen una mezcla de cationes mono y divalentes hasta que se establece el equilibrio entre el suelo y la solución, las proporciones de los cationes intercambiables mono y divalentes que están presentes en el complejo de intercambio varían según sea la concentración total de cationes y la relación entre cationes monovalentes y divalentes en las soluciones de sales.

Gapón (14), Mattson y Wiklander (30), Davis (11) y Schofield (41) sugieren que si se toma en cuenta la influencia de la concentración catiónica total, se obtiene una relación lineal con la relación entre cationes intercambiables monovalentes y cationes divalentes, cuando la concentración molar del catión soluble monovalente, se divide por la raíz cuadrada de la concentración molar del catión divalente.

$$K = \frac{[Na^+]^2}{[Ca^{++}]} \cdot \frac{(Ca^{++})}{(Na^+)^2}$$

Para discutir la relación de equilibrio que hay entre los cationes solubles y los intercambiables, se utilizan las siguientes ecuaciones:

a). Relación de adsorción de sodio

$$RAS = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}}{2}}$$

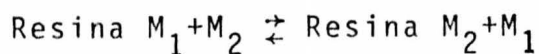
b). Relación de adsorción de potasio

$$RAP = \frac{K^+}{\frac{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}}{2}}$$

En ambas relaciones,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  se refieren a las concentraciones de los cationes solubles, expresadas en miliequivalentes por litro.

El intercambio iónico se rige por las leyes del equilibrio químico. Por ejemplo cuando una resina saturada con un catión  $M_1$ , se pone en contacto con una solución del catión  $M_2$ , durante suficiente tiempo, se establece un equilibrio según la siguiente reacción:





La aplicación de la ley de masas a este tipo de reacción resulta difícil, ya que las concentraciones deben estar afectadas por coeficientes de actividad empíricos, sobre todo la de iones unidos a la resina. Se han propuesto diferentes ecuaciones aproximadas.

En el momento del equilibrio la cantidad de iones  $M_1$  y  $M_2$  que quedan en solución depende de la naturaleza de la resina, de los cationes que se intercambian y de su concentración. En cada caso existe una constante, llamada constante de selectividad que viene dada por la expresión.

$$K_G = \frac{CM_{1S}^+ \cdot CM_{2R}^+}{CM_{2S}^+ \cdot CM_{1R}^+}$$

donde:

$CM_{1S}^+$  = Concentración de  $M_1$  en la solución.

$CM_{2S}^+$  = Concentración de  $M_2$  en la solución.

$CM_{1R}^+$  = Concentración de  $M_1$  en la resina.

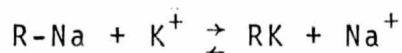
$CM_{2R}^+$  = Concentración de  $M_2$  en la resina.

La constante de selectividad depende de la afinidad de los grupos activos de la resina para cada uno de los iones que compiten.

Como puede deducirse de la expresión anterior, si se desea que la concentración de  $M_2^+$  en la resina sea grande,  $CM_{1S}^+$  debe ser pequeña, y  $CM_{2S}^+$  grande.

La constante de selectividad depende de las afinidades de los iones con la resina y de la tendencia de dichos iones a la hidratación.

La constante de selectividad para el equilibrio.



será mayor que la unidad.

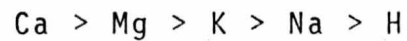
$$K = \frac{C_{RK} \cdot C_{Na^+}}{C_{RNa} \cdot C_K} > 1$$

Es decir, en el equilibrio, el producto de la concentración de  $K^+$  en resina por la de  $Na^+$  en solución, es mayor que el producto de la concentración de  $Na^+$  en la resina por la de  $K^+$  en solución.

Los efectos de la valencia sobre la liofilidad y sobre la afinidad de los iones con la resina son del mismo sentido; de forma que al aumentar la valencia aumenta la *lio-filidad* y la afinidad del ión por la resina.

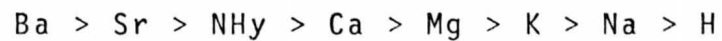
Se ha determinado experimentalmente, la secuencia de

valores absolutos para la preferencia de fijación de una resina. Esta relación es, generalmente la siguiente (para los iones más comunes en el suelo) y se conoce como serie leotrópica.



al aplicar a los suelos las leyes del intercambio iónico, se pueden explicar y deducir los fenómenos que en el tienen lugar.

La capacidad de fijación de los iones por el suelo disminuye en el orden:



Una parte de las posiciones de cambio de suelo están ocupadas por cationes metálicos; la proporción de la capacidad de intercambio catiónico que ello representa, recibe el nombre de "porcentaje de saturación por bases". El resto de la capacidad de intercambio puede estar saturada por  $\text{H}^+$  o  $\text{Al}^{+3}$ , en general, estos grupos están poco ionizados por ser ácidos débiles. Cuando aumenta la concentración de  $\text{H}^+$  en la solución del suelo, éste desplaza a los otros cationes de cambio.

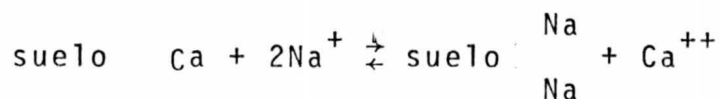
Existe una relación directa entre el porcentaje de -

saturación por bases y el pH del suelo; de forma que los valores por debajo de una cierta proporción de saturación corresponden a suelos ácidos.

En los suelos la cantidad existente de un catión fijado en forma intercambiable varía continuamente. Si se modifican las concentraciones de sales, se sustituyen -- unos por otros cuando se acidifica el suelo se introduce  $H^+$  en sustitución de otros cationes.

La preferencia de fijación en el suelo, entre una - pareja de iones, se expresa mediante la  $K_S$  específica de dicha pareja.

Ejemplo: Al abonar un suelo con fertilizantes sódicos el Na tiende a desplazar al Ca, según la siguiente - reacción.



La constante de selectividad viene expresada por:

$$K_G = \frac{\text{Conc. de Na en el suelo} \times \text{Conc. de Ca en solución}}{\text{Conc. de Na en solución} \times \text{Conc. de Ca en el Suelo}}$$

Por tanto, al encalar, se produce la reacción inversa, ya que se aumenta la concentración de  $Ca^{++}$  en el segundo miembro; es decir, en la solución del suelo.

Si se mantuvieron iguales las concentraciones de Ca y Na en la solución de suelo, como el valor de la  $K_r$ , anterior es menor que la unidad, ya que el ión Ca tiene mayor carga y tamaño, éste estaría en el complejo de cambio en mayor proporción que el sodio.

De los valores de la  $K_G$  se puede deducir cuales son los iones que se adsorben preferentemente.

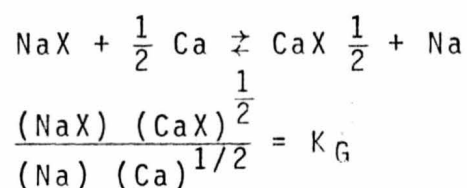
En algunos tipos de suelo se ha estudiado el equilibrio de intercambio. Los resultados experimentales se corresponden con la siguiente ecuación de reparto modificado.

$$K_G = \left( \frac{CM_1^+ \text{ sol}}{CM_2^+ \text{ sol}} \right)^X \cdot \frac{CM_2^+ \text{ suelo}}{CM_1^+ \text{ suelo}}$$

$$X < 1.$$

Por lo tanto, cuando un ión está más diluído en la solución del suelo, se fija en proporción mayor que la correspondiente a la constante de reparto teórico.  $K_G \cdot y^X$  se determinaron experimentalmente en cada caso.

En el caso de Na intercambiable por Ca tendremos



$$\frac{\text{NaX}}{\sqrt{\text{Ca}}} = \frac{(\text{Na})}{\sqrt{\text{CaX}}} K_G$$

Al graficar estos valores nos proporcionan una función lineal de  $K_G$ .

2.- El pH del suelo y su influencia en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico.

El pH. del suelo se define convencionalmente mediante la ecuación:

$$\text{pH del suelo} = \log \frac{1}{a_{\text{H}^+}} = \log_{10} a_{\text{H}^+}$$

$a_{\text{H}^+}$  en la suspensión del suelo se expresa en  $\frac{\text{g-iones}}{\text{litro}}$ .

La concentración efectiva de iones hidrógeno  $|\text{H}^+|$ , incluye todas las fuentes. Tales como, la disociación de las sales solubles y los disociados de las partículas del suelo.

El pH del suelo está determinado por la interacción de un número de sistemas buffer que posiblemente incluyen los sistemas  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{CO}_3$ ;  $\text{H}_2\text{CO}_3 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{=}$ ; ácidos débiles situados sobre materia orgánica incluyendo los grupos carbonílicos, fenol, enol, e imida. Formando cargas situadas sobre los minerales los sistemas:  $\text{Al}^{+3} - \text{AlOH}^{+2} - \text{Al}(\text{OH})_3$  y  $\text{Fe}^{+3} - \text{FeOH}^{+2} - \text{Fe}(\text{OH})_3$ .

Cuando el  $\text{CaCO}_3$  está presente, la presión parcial de

$\text{CO}_2$  es el factor dominante que controla el pH del suelo. Las presiones parciales de  $\text{CO}_2$  en el aire del suelo (incluyendo el subsuelo) varían desde  $10^{-6}$  -  $2 \times 10^{-1}$  estos valores corresponden a pH que varían desde 9.9 a 6.2

Debido a que el  $\text{CO}_2$  es un producto de descomposición de la materia orgánica el aire del suelo es generalmente más alto, en  $\text{CO}_2$  que el atmosférico y el contenido de  $\text{CO}_2$  es generalmente más alto en el subsuelo, porque los gases de intercambio están restringidos con el aire atmosférico.

Así que el pH en términos generales del suelo bajo condiciones naturales, no puede ser menor de 8.4, lo cual es el pH de un sistema  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  en equilibrio con la presión de  $\text{CO}_2$  ( $3 \times 10^{-4}$  atm.) y la presión parcial del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera.

Los valores medidos del pH de un suelo varían en relación con el método de preparación del mismo, por lo que cuando se ven datos sobre el pH de cualquier suelo es necesario especificar el procedimiento de preparación.

Los factores que afectan principalmente las medidas de pH son:

- a). La desecación de la muestra durante su preparación, - ya que se ha observado un aumento del pH de los suelos

calcarios. También ha sido observado un aumento al de  
secar suelos ácidos sin arcilla.

- b). La proporción suelo-agua que se use.
- c). El contenido en sales solubles.
- d). El contenido de  $\text{CO}_2$ , que puede estar influido por la  
estación o la desecación.
- e). La intensidad de la molienda del suelo.

Las medidas sobre muestras desecadas al aire son las más convenientes y las que se realizan generalmente, pudiendo ser considerado este procedimiento como el normal. Hay razones para creer que ciertas reacciones químicas del sue  
lo son aceleradas por el proceso de desecación y que, por tanto, las muestras desecadas se encuentran en condiciones más próximas a las del equilibrio.

En general, cuanto mas diluida sea la suspensión de -  
un suelo será mas alto el valor del pH hallado, no importando que sea ácido o alcalino.

El aumento del pH. del suelo con la dilución desde -  
puntos pastoso hasta una relación; suelo:-agua=1:10, es -  
usualmente del orden de 0.2 a 0.5 unidades de pH, pero --  
puede llegar a ser de una o varias unidades de pH en cier  
tos suelos neutros y alcalinos.



Un potencial de contacto líquido-líquido contribuye a dar valores bajos para el pH medido en una suspensión espesa de suelo por lo que no será conveniente realizar las medidas del pH del suelo en suspensiones espesas, con el fin de simular las condiciones del campo.

Resumiendo, los valores del pH obtenidos son aparentes pues dependen de las características del suelo la concentración de bióxido de carbono disuelto y el contenido de humedad al cual se efectúa la lectura.

Asímismo el pH del suelo está influenciado por la composición de los cationes intercambiables, la naturaleza de los materiales de intercambio catiónico, composición y concentración de las sales solubles y la presencia o ausencia de yeso y carbonatos de metales alcalino-térreos.

Fireman y Wualdeigh (13) hicieron un estudio estadístico de la relación del pH al porcentaje de sodio intercambiable en suelo de regiones áridas, estudiando el efecto que sobre esta relación tienen varios factores, como el contenido de humedad al nivel de salinidad, la presencia o ausencia de carbonatos de metales alcalinos térreos y el yeso

Cuadro 1. Coeficiente de correlación ( $r$ )<sup>1</sup> y coeficiente de determinación ( $r^2$ ) para la relación entre la lectura de pH y el porcentaje de sodio intercambiable modificados por el contenido de humedad, el nivel de salinidad y la presencia o ausencia de carbonatos alcalino-terreos y de yeso.

Contenido de humedad (porciento)	CE <sub>es</sub> X 10 <sup>3</sup> a 25°C	Alcalino-térreos	Yeso	Número de muestras	r	% r <sup>2</sup>
Saturación	Variable	Variable	Variable	868	0.66	44
500	Variable	Variable	Variable	271	.65	43
1,000	Variable	Variable	Variable	289	.53	28
6,000	Variable	Variable	Variable	346	.48	24
Saturación	0-4	Variable	Variable	349	.56	31
Saturación	4-8	Variable	Variable	91	.72	52
Saturación	8-15	Variable	Variable	115	.70	49
Saturación	15-30	Variable	Variable	87	.74	54
Saturación	> 30	Variable	Variable	69	.49	24
Saturación	Variable	Presente	Presente	237	.72	52
Saturación	Variable	Presente	Ausente	452	.56	32
Saturación	Variable	Ausente	Ausente	154	.41	17

<sup>1</sup> Todos los valores son significativos al nivel del 1 por ciento.

### 3. Manejo control y combate de los problemas de ensalitr amiento en los suelos.-

El término suelo es usado con diferentes significados por los agrónomos, siendo el más general el que considera al suelo como roca intemperizada bioquímicamente con características tridimensionales de forma, superficie y profundidad (43).

Los suelos con problemas de acumulación de sales se han clasificado en tres grupos: suelos salinos, suelos salino-sódicos y suelos sódicos no salinos.

El término salino se aplica a suelos cuya conductividad del extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm a - 25°C, con un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15 (12). Generalmente el pH es menor de 8.5. Estos suelos pertenecen al tipo descrito por Hilgard (18) como - "álcalisblancos" y a los solonchoks de los autores rusos.

Las características químicas de los suelos salinos - quedan determinados principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes. La cantidad de sales solubles presentes controla la presión osmótica de la solución del suelo. El sodio rara vez representa más de la mitad de los cationes solubles (suelos salinos) y por tanto no es adsorbido

en forma importante. Las cantidades relativas de calcio y magnesio presentes en la solución del suelo y en el complejo de intercambio varían considerablemente. Tanto el potasio soluble como el intercambiable son en general, - constituyentes de menor importancia, aún cuando ocasionalmente se tornen en constituyentes mayores. Los aniones principales son el cloruro, el sulfato y a veces el nitrato. Pueden presentarse también pequeñas cantidades de bicarbonato, pero invariablemente los carbonatos solubles casi no se encuentran. Aparte de sales rápidamente solubles, los suelos salinos pueden contener sales de baja solubilidad, como el sulfato de calcio (yeso) y carbonatos de calcio y magnesio (caliza).

Los suelos salinos casi siempre se encuentran floculados debido a la presencia de un exceso de sales y a la ausencia de cantidades significantes de sodio intercambiable. En consecuencia, la permeabilidad es igual o mayor a la de suelos similares no salinos.

Los suelos salino sódicos de acuerdo al laboratorio de salinidad de los Estados Unidos (12) <sup>I</sup> son aquellos cuya conductividad del extracto de saturación es mayor de 4mmhos/cm a 25°C y el porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15. Este tipo de suelos se forma como resultado de los procesos combinados de salinización y acumulación en sodio. Siempre que contengan un exceso de sales, su aparien

cia y propiedades son similares a las de los suelos salinos. Cuando hay exceso de sales el pH es raramente mayor de 8.5 y las partículas permanecen floculadas. Si el exceso de sales solubles es lavado, las propiedades de estos -suelos pueden cambiar notablemente, llegando a ser idéndicos a las de los suelos sódicos no salinos. A medida que la concentración de sales disminuye en la solución, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar hidróxido de sodio, que a su vez, puede cambiar a carbonato de sodio. Si al lavar el suelo, el pH aumenta (mayor de 8.5), las partículas se dispersan y el suelo se vuelve desfavorable para la entrada del agua y las labores de labranza. Aunque el retorno de las sales solubles puede hacer que -baje el pH y restaure las partículas a una condición floculada, el manejo de los suelos salino-sódicos sigue siendo un problema hasta que se elimina el exceso de sales de sodio intercambiable de la zona del cultivo y se restablecen las condiciones físicas del suelo.

A veces estos suelos salino-sódicos contienen yeso y cuando son lavados, el calcio se disuelve reemplazando al sodio intercambiable. Esto tiene lugar con la eliminación simultánea del exceso de sales.

Suelos sódicos no salinos, son aquellos cuyo porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15 y la conductiva

vidad del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25°C. El pH varía generalmente entre 8.5 y 10. En los suelos altamente sódicos, la materia orgánica dispersa y disuelta puede depositarse en la superficie debido a la evaporación, causando así un ennegrecimiento y dando origen al término álcali negro (18) son suelos con baja permeabilidad y de muy difícil labrado.

El sodio intercambiable en un suelo sódico no salino puede tener una marcada influencia en sus propiedades físicas y químicas. Al aumentar la proporción de sodio intercambiable, el suelo tiende a ser más disperso y el pH aumenta a veces hasta el valor de 10. La solución del suelo es relativamente baja en sales solubles, teniendo una composición que difiere considerablemente de la de los suelos normales y de los salinos. Los aniones presentes consisten en su mayor parte de cloruros, sulfatos y bicarbonatos, también pueden encontrarse pequeñas cantidades de carbonatos. A pH muy elevado y en presencia de iones carbonato, el calcio y el magnesio se precipitan, por lo que en este tipo de suelos, predomina el sodio. Grandes cantidades de potasio intercambiable pueden presentarse en algunos de estos suelos. El efecto del contenido excesivo de potasio intercambiable no se ha estudiado ampliamente.

Ciertos suelos sódicos no salinos contienen un porcen

taje de sodio intercambiable mayor de 15 y sin embargo el pH, especialmente en la superficie puede ser tan bajo como 6. A estos suelos De Sigmand (42) los llama suelos alcalinos degradados. Se presentan en ausencia de caliza y el bajo pH es resultado del hidrógeno intercambiable y corresponden típicamente a la de un suelo salino no sódico.

En los suelos salinos no existe un cambio brusco en las propiedades del suelo a medida que aumenta el grado de saturación del sodio intercambiable, por lo que la determinación de los suelos no sódicos y los sódicos constituye un problema. Hay casos, por ejemplo, en que el valor de 2 a 3 miliequivalentes de sodio intercambiable tiene tanta utilidad en límite crítico como el que representa un suelo con 15% de sodio intercambiable.

De Sigmond (42), propuso que el sodio y el potasio intercambiables deben considerarse como aditivos al definir los suelos sódicos. Puesto que se ha observado que un alto contenido de potasio en suelos sódicos mejora las propiedades físicas haciéndolos más fácilmente recuperables que otros suelos sódicos que contienen cantidades similares de sodio, pero bajas cantidades de potasio intercambiable.

Los suelos solubles del suelo, consisten principalmente en varias proporciones de los cationes sodio, calcio y magnesio, y de los aniones cloruro y sulfato, el catión potasio y los aniones bicarbonato, carbonato y nitrato, - se encuentran generalmente en cantidades menores. La fuente original y directa, de la cual provienen todos estos cationes y aniones, son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre.

El tipo de suelos que presenta el vaso del ex-Lago de Tezcoco pertenece a la categoría de salino-sódicos y se generaron debido principalmente a: áreas volcánicas jóvenes encerradas por depósitos nuevos de los cuales se derivó - la descarga geoquímica; depresiones con un drenaje natural insuficiente y al clima en el cual la evaporación predomina sobre la precipitación (39).

La calidad del agua, las prácticas de riego, y las condiciones de drenaje son aspectos importantes en el control de la salinidad y el exceso de sodio cuando un suelo es salino se deben tener precauciones para el lavado del exceso de sales y en el uso de mejoradores químicos para mantener una adecuada conductividad hidráulica.

En los suelos las sales solubles son transportadas -



por el agua. La concentración de las sales solubles en la solución del suelo aumenta a medida que se va eliminando el agua de éste por evaporación. La desecación del suelo superficial por transpiración y evaporación, crea un gradiente de succión que producirá un movimiento ascendente muy notable de agua y sales solubles. Este ascenso, especialmente si la capa freática queda muy cerca de la superficie, es un proceso por el cual muchos suelos se han salinizado.

De las reacciones de equilibrio entre los cationes de la solución del suelo y los que han sido adsorbidos por el complejo de intercambio depende la necesidad de usar mejoradores para cambiar el status de cationes intercambiables de el suelo. La adsorción de un exceso de sodio perjudica el estado físico del suelo y puede ser tóxico para las plantas. Si el contenido de sodio intercambiable aumenta mucho en el suelo, o tiende a aumentar, se necesitarán prácticas adecuadas de mejoramiento, lavado y manejo, para que las condiciones del suelo sean óptimas con respecto al crecimiento de las plantas.

Para lograr esto es necesario lavar las sales en el caso de suelos salinos mediante la aplicación de agua y en el caso de los suelos sódicos utilizar mejoradores.

El que las plantas del suelo estén floculadas, o dis

persas depende en cierto grado del tipo y proporción de los iones intercambiables y de la concentración iónica de la solución del suelo. Los suelos salino-sódicos que son floculados y permeables cuando salinos, se defloculan si se lavan más allá de cierta concentración, conocida como crítica.

El tipo y cantidad de mejorador químico que se va a aplicar a un suelo con la mira de substituir al sodio intercambiable, depende de las características propias del suelo, de la velocidad de substitución deseada y de limitaciones económicas.

Los mejoradores químicos que se aplican a los suelos son de tres tipos:

Mejoradores para suelos sódicos:      Productos químicos:

Sales solubles de calcio	Cloruro de calcio y yeso (sulfato de calcio).
Acidos o formadores de ácido	Azufre, ácido sulfúrico, sulfato de fierro, sulfato de aluminio, cal-azufre.
Sales de calcio de baja solubilidad (pueden contener magnesio también).	Roca caliza molida, sub-productos de cal usada en los ingenios azucareros.

La efectividad de cada mejorador depende principalmente del contenido de carbonatos de metales alcalino té-

reos y del pH. Considerando la respuesta de los suelos salinos a diferentes tipos de mejoradores, se establecen las siguientes categorías:

- 1). Suelos que contienen carbonatos de metales alcalino - térreos.
- 2). Suelos prácticamente libres de metales alcalino térreos y cuyo pH es mayor de 7.5.
- 3). Suelos libres de carbonatos de metales alcalino térreos cuyo pH es menor de 7.5.

Las determinaciones del sodio intercambiable y de la capacidad de intercambio catiónico, son guías muy valiosas para calcular las cantidades de mejoradores químicos que se requieren para reducir el porcentaje de sodio intercambiable.

El cuadro No. 2 nos proporciona cantidades de yeso y azufre necesarias para substituir las cantidades indicadas de sodio intercambiable.

Sodio inter- cambiable me/100 gr de suelo	Yeso: <sup>1</sup> (CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O)		A z u f r e (S)	
	Toneladas/ Hectárea	Toneladas/ Hectárea	Toneladas/ Hectárea	Toneladas/ Hectárea
	30 cm ( <sup>2</sup> )	15 cm ( <sup>3</sup> )	30 cm ( <sup>2</sup> )	15 cm ( <sup>3</sup> )
1	4.2	2.2	0.89	0.40
2	8.8	4.4	1.78	0.80
3	12.6	6.7	2.67	1.20
4	16.8	8.9	3.56	1.60
5	21.0	11.1	4.45	2.00
6	25.2	13.3	5.34	2.40
7	29.4	15.5	6.23	2.80
8	33.6	17.7	7.12	3.20
9	37.8	20.0	8.01	3.60
10	42.0	22.2	8.90	4.00

<sup>1</sup> Las cantidades de yeso se dan con aproximación de 0.1 tonelada.

<sup>2</sup> Una hectárea-30 cm de suelo pesa aproximadamente 4.000,000 de kilogramos.

<sup>3</sup> Una hectárea-15 cm de suelo pesa aproximadamente 2.000,000 de kilogramos

La reacción entre un mejorador como el yeso y el sodio intercambiable, es una reacción reversible, cuyo desplazamiento dependerá de diversos factores, tales como las diferencias en las energías de sustitución del calcio y del sodio, el porcentaje de sodio intercambiable y la concentración catiónica total de la solución del suelo. Para el caso general, donde se aplica una cantidad de yeso equivalente a

la cantidad de sodio intercambiable que existe en la capa superficial de 15 a 30 cm de suelo, se ha logrado cierto adelanto para determinar el porcentaje de calcio aplicado que reaccionará con el sodio intercambiable. Los datos disponibles indican que cuando el PSI del suelo es mayor de 25, el 90% o más del calcio aplicado en el mejorador, reemplaza al sodio intercambiable a medida que el suelo es lavado. El porcentaje de calcio agregado que reemplaza al sodio intercambiable no llega a ser menos del 50% hasta que la cantidad de sodio intercambiable sea menor del 10%. En las condiciones mencionadas, no se reemplaza totalmente todo el sodio sustituible a la profundidad del suelo en que se basa la aplicación, pero si la mayor parte. De manera general, se sugiere que la relación de aplicación del yeso y el azufre que se indica en el cuadro anterior, sea multiplicada por el factor 1.25 para compensar la falta de sustitución cuantitativa.



Velocidad de reacción de los mejoradores y consideraciones económicas.- La selección de un mejorador químico puede estar determinada por el tiempo que requiere su reacción en el suelo. En general, los mejoradores más baratos actúan más lentamente. En consecuencia, si se desea lograr una sustitución inmediata del sodio intercambiable, se tendrá que aplicar un mejorador de acción rápida pero de precio elevado.

Debido a su gran solubilidad en el agua, el cloruro de calcio es probablemente la fuente más eficaz de calcio soluble, usándose en casos especiales debido a su costo elevado. El ácido sulfúrico y los sulfatos de fierro y aluminio que se hidrolizan fácilmente en el suelo, para formar ácido sulfúrico, son de acción rápida. El ácido sulfúrico es lo suficientemente barato para su aplicación en el campo, pues los sulfatos de fierro y aluminio no son económicamente recomendables. Por su costo relativamente bajo, el yeso y el azufre son los mejoradores más comúnmente utilizados para la rehabilitación de suelos. El grado de reacción del yeso para substituir al sodio está limitado únicamente por su solubilidad en el agua, la cual es cerca de 0.25% a temperaturas ordinarias. La presencia de iones sodio y cloro en el agua aumenta la solubilidad del yeso, en tanto que los iones calcio y sulfato la disminuyen.

Debido a que el azufre debe de ser oxidado primeramente por la acción microbiana hasta la forma de sulfato para que sea útil en la reacción, este elemento se clasifica como de acción lenta. Mc. George y Green (31) han demostrado en el laboratorio que algunos suelos de Arizona, el azufre aplicado a razón de 2.4 ton/ha sufre su oxidación completa en unas dos o tres semanas bajo condiciones favorables de humedad y temperatura. Mayores aplicaciones requieren de más tiempo para su completa oxidación.

La solubilidad de la caliza aplicada a suelos sódicos, está notablemente influenciada por el pH y por la presencia de hidrógeno intercambiable. A excepción de que el suelo sea marcadamente árido la reacción química de la caliza es lenta. El tamaño de las partículas es también un factor importante que afecta la velocidad de la reacción de la caliza, el yeso y el azufre al aplicarse al suelo, puesto que todas las variaciones son reacciones de superficie, entre más fino sea el tamaño de las partículas más rápida será la reacción.

En la actualidad existe un gran interés en el uso del polisulfuro de calcio como mejorador. Dicho polisulfuro es un líquido muy alcalino de color café que contiene polisulfuros de calcio y algo de tiosulfato de calcio. El contenido de calcio es generalmente de una cuarta parte con respecto al de azufre y la acción del compuesto depende principalmente del contenido de azufre. El material se aplica generalmente con el agua de riego. Al igual que en el caso del azufre, debe oxidarse primero hasta ácido sulfúrico y luego reaccionar con los carbonatos alcalino-térreos para producir una forma soluble de calcio.

Desde el punto de vista de la eficiencia para sustituir al sodio intercambiable, es ventajoso lavar casi todas las sales solubles del suelo antes de aplicar los mejoradores químicos. Como consecuencia de la eliminación

de las sales solubles, una mayor proporción del calcio - que se agrega con el mejorador es adsorbido por el complejo de intercambio del suelo. La ventaja que se obtiene al aumentar la eficiencia del sodio intercambiable por efecto del lavado previo, puede ser eliminada por la disminución en permeabilidad que generalmente sucede con el lavado de un suelo salino-sódico.

Excepto cuando se usa azufre, los suelos salino sódicos deben lavarse inmediatamente después de la aplicación del mejorador, porque el lavado lo disuelve y transporta hacia abajo, eliminando también las sales solubles de sodio que se forman a consecuencia del intercambio catiónico. Todo suelo que ordinariamente recibe azufre no debe lavarse hasta después de un tiempo conveniente, para dar oportunidad a que se oxide ese elemento y se forme yeso, pero el suelo deberá de mantenerse húmedo porque la humedad es esencial para el proceso de oxidación microbiana.

Uno de los procesos más utilizado en la recuperación de suelos salinos-sódicos es el método de diluciones sucesivas para recuperar los suelos afectados por altos contenidos de sodio intercambiable. Es decir, partiendo de altas concentraciones en el lavado inicial de estos suelos y con aplicaciones sucesivas de lavados con menor concentración hasta que se logra obtener la concentración común de las aguas utilizadas para riego (<50 meq/l) sin perder



la conductividad hidráulica del suelo o la permeabilidad.

Las fuentes de agua disponible para la recuperación de suelos pueden ser mares y ríos salobres que conteniendo altas cantidades de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  favorecen la recuperación, ya que por un lado, se utiliza el efecto coagulante de las altas concentraciones electrolíticas y por otro la presencia de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  en estas aguas para efectos de inter--cambio catiónico.

Según se deriva de algunas experiencias realizadas - (45) en el caso particular de los suelos del ex-lago de - Tezcoco, que tienen altos contenidos de  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{HCO}_3^{-}$ , la disponibilidad de  $\text{Ca}^{++}$  se ve limitada por su precipitación en forma de  $\text{CaCO}_3$ , retardándose con esto la recuperación, ya que la velocidad de intercambio es una función no solamente de la concentración absoluta de cationes divalentes, - sino también de su relación de adsorción de sodio RAS. Es evidente que con un RAS bajo, la concentración alta de cationes divalentes favorece un rápido intercambio de cationes.

Cuando se inician las tareas de recuperación de suelos sódicos, el objetivo principal es el reemplazo del sodio intercambiable por cationes divalentes como calcio y magnesio y una de las formas usuales de aplicación del - calcio es adicionarlo a las aguas de riego, de tal manera

✓ que encontrándose en forma soluble participe en los proce  
sos de intercambio.

Cuando se usan grandes volúmenes de agua, esto es co  
mún en los trabajos de recuperación, lo que se quiere es  
desplazar la solución del suelo por otra menos adversa a  
las propiedades físicas y químicas de los mismos. A este  
proceso se le conoce como desplazamiento miscible (3).

El desplazamiento miscible es un fenómeno universal  
que ocurre en el tiempo y en espacio. Cuando un fluido -  
desplaza a otro, tiene lugar una mezcla que depende de --  
sus propiedades y del material en el que el fluido se en-  
cuentra.

En los suelos los fluidos son soluciones acuosas de  
diferentes sales. La presencia de sales en el solvente  
modifica sus propiedades y su relación con el medio. Di-  
ferentes sales interactúan entre sí y a su vez con el ma-  
terial poroso y finalmente el proceso de transporte varía  
en relación a la estructura porosa del medio y del grado  
de saturación de los poros.

El control en la evaporación es un importante aspec-  
✓ to en el manejo de un suelo salino. Esto no sólo salva -  
la humedad, sino que también puede retardar la transforma  
ción de las sales solubles en la zona radical. Al no exis

tir métodos baratos para reducir la evaporación de grandes zonas, esto se debe combinar con otros métodos.

Cuando se practica un riego, debe de evitarse el exceso de agua, a menos que se intente liberar al suelo de sales solubles. Por lo que se debe preferir hacer frecuentes riegos ligeros.

El tiempo de riego es muy importante en los suelos salinos, particularmente durante la primavera estación de siembra. Debido a que las plántulas de semillero son muy sensibles a las sales, el riego debe de seguir a la siembra recurriendo a las sales. Después de que las plantas están establecidos, su resistencia a las sales es a menudo mayor.

El uso de cultivos resistentes a las sales es otro aspecto importante del cuidado adecuado de los suelos salinos o alcalinos. La acción de las raíces de plantas tolerantes es particularmente favorable para mejorar los suelos alcalinos que tienen una pobre condición física.

#### IV. MATERIALES Y METODOS

1. Determinaciones del pH del suelo a diferentes PS y utilizando distintos pH en la solución extractora para iones solubles.

Para realizar la parte experimental de este trabajo se utilizaron muestras de suelo provenientes del vaso del ex-Lago de Tezcoco (a 500 m del campamento de la S.A.G. - rumbo al norte).

Se eligieron estos suelos, ya que presentan las características de suelos salino-sódicos. Además de que los localizados en esta zona en particular, no han sufrido ninguna contaminación con aguas negras.

Se hicieron dos repeticiones para la determinación de iones solubles, con el objeto de checar posibles fallas en las evaluaciones, haciendo variar tanto el PS como el pH para observar el efecto de éstos en la determinación de iones solubles. Los valores que se utilizaron fueron:

PS	%	pH
1	50	3
2	100	4
3	150	5
4	200	6
5	250	6.7
6	300	8
7	350	9
8	400	10
		11
		12

Determinación del PS (porcentaje de saturación).

Se pesaron para cada muestra 200 g de suelo, adicionándole una solución alcalina o ácida (en un vaso de precipitados), agitándose con una espátula. De vez en cuando la muestra debe consolidarse golpeando el recipiente con cuidado sobre la mesa de trabajo. Al saturarse la pasta, brilla por la reflexión de luz, fluye ligeramente si se inclina el recipiente y la pasta se desliza fácilmente de la espátula.

Por lo que el porcentaje de saturación en base a peso de suelo seco es la relación que existe entre la muestra de suelo expresada en gramos y la cantidad de solución que se necesitó para saturar el suelo. La expresión que lo determina será por tanto:

$$PS = \frac{M (g)}{V}$$

M = gramos de la muestra.

V = volumen de la solución

Para llegar al PS fué necesario agregar 100 ml de solución para 200 g de suelo, así que el PS para las muestras fué igual a 50%

$$PS = \frac{200}{100} = 50\%$$

Como era necesario conocer el efecto de dilución en la concentración de los iones solubles se llevó a las muestras a 8 diferentes PS, por adiciones de solución que corresponden a los ya citados.

Uno de los objetivos fijados fué el de hacer variar el pH de la solución para desplazar las sales solubles - por lo que en pH alcalinos se utilizó  $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$  en lugar de agua destilada y en pH ácido  $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$ . Además de también utilizar agua destilada  $\text{pH} = 6.7$ .

Las muestras así preparadas (80 para cada repetición), se dejaron reposar toda una noche con el objeto de que la solución y el suelo se interaccionen completamente, dando tiempo a la disolución de las sales.

La determinación del pH en las muestras se hizo en la pasta del suelo saturado en un potenciómetro con electrodo de vidrio marca Beckman. Obteniéndose el valor directo en la escala del aparato.

La pasta saturada (de cada muestra), se vació en un embudo, el cual se colocó en un matraz para vacío. Se le aplicó vacío, para la obtención del extracto.

2. Determinación de la CE a diferentes PS y pH.

A todas las soluciones de los extractos se les determinó su conductividad eléctrica. Ya que está relacionada con la concentración total de componentes ionizados en la solución y con los sólidos totales disueltos.

La lectura se hizo en un puente de Wheatstone con electrodo de pipeta, tomando la temperatura en el momento de la determinación, ya que el aparato proporciona la conductividad eléctrica a la temperatura de 25°C en mmhos/cm.

Si la temperatura de la solución no es de 25°C, la lectura se modifica por el factor de temperatura, Manual 60 (12) y por el factor de calibración del aparato que en este caso particular es de 2.048.

3. Determinación de la concentración de iones solubles en cada PS y para cada pH.

En la solución se hicieron las determinaciones de los siguientes iones solubles:  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .

Carbonatos ( $\text{CO}_3^{=}$ ). Se determinaron tomando una alícuota de 2 ml., utilizando fenolftaleína como indicador. La titulación se llevó a cabo con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .001N hasta el vire del indicador. Los carbonatos se determinaron únicamente en pH alcalinos (hasta 8). Ya que en rangos mas bajos debido

al pH ácido de la solución no existen puesto que pasan a  $\text{HCO}_3^-$ .

La cantidad de miliequivalentes por litro de  $\text{CO}_3^{=}$  está dado por meq/l de  $\text{CO}_3^{=}$  =  $\frac{2y \times N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times 1000}{\text{ml de alícuota}}$

En donde: y = Cantidad de ácido que se necesitó para hacer variar el indicador.

Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). En esta determinación se utilizó anaranjado de metilo como indicador (a partir de pH - 6.7 hacia abajo), y se tituló con la misma solución valorada  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

La cantidad de  $\text{HCO}_3^-$  en miliequivalentes por litro se estimó por la siguiente fórmula:

$$\text{meq/l de } \text{HCO}_3^- = \frac{Z \times N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times 1000}{\text{ml. de alícuota}}$$

Z = Cantidad de ácido necesario para la determinación de  $\text{HCO}_3^-$ .

Debido a los valores de pH para  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{HCO}_3^-$  en los pH 8 y 9 se obtuvieron cantidades considerables de  $\text{HCO}_3^-$  por lo que para su determinación se partió de las muestras de  $\text{CO}_3^{=}$  ya valoradas. A estos se les adicionó anaranjado de metilo procediéndose en forma igual que la anterior.



La cantidad de miliequivalentes por litro de  $\text{HCO}_3^-$  se da entonces de la siguiente forma:

$$\text{meq/l de } \text{HCO}_3^- = \frac{(Z-2y) \times \overset{N}{\text{H}_2\text{SO}_4} \times 1000}{\text{ml. de alícuota}}$$

Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ). Se preparó una solución de cromato de potasio al 5% en 100 ml de agua (A) y una de nitrato de plata 0.005N (B). A la muestra proveniente de carbonatos y/o bicarbonatos se le adicionaron 4 gotas de reactivo A. Se procesó entonces a titular con B hasta producir un color rojizo que sea estable.

Los miliequivalentes por litro del ión cloruro se determinaron por la fórmula siguiente:

$$\text{meq/l de } \text{Cl}^- = \frac{\text{ml de } \overset{N}{\text{AgNO}_3} \times \text{ml de } \overset{N}{\text{AgNO}_3} \times 1000}{\text{ml. de alícuota}}$$

Sulfatos ( $\text{SO}_4^{=}$ ). Los sulfatos se determinaron por el método colorimétrico, utilizando el colorímetro Klett -- Sumerson. Debido a que las concentraciones de sulfatos son muy bajas a pH altos y por lo tanto otros métodos no son sensibles para estos valores.

La muestra se preparó en un tubo de ensayo de 15x1.7 utilizando una dilución 1:20, adicionándole 2 ml de HCl - 2N y unos cristales de  $\text{BaCl}_2$ , después de reposar durante 3 minutos, el tubo se introduce en el colorímetro obteniendo

do la lectura directamente. La cual se llevo a la gráfica de Concentración - lectura del aparato que nos dará ppm de  $SO_4^{=}$  (12).

Para obtener los miliequivalentes por litro de  $SO_4^{=}$  - se hacen los siguientes cálculos.

$$\text{meq/l de } SO_4^{=} = \frac{\text{ppm del } SO_4 \times \text{dilución}}{\text{pe del } SO_4^{=}}$$

Determinación de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ .- Se determinaron  $Ca^{++} + Mg^{++}$  ya que la cantidad de  $Ca^{++}$  que se encuentra presente en estos suelos no es muy representativa. Se tomaron 2 ml de solución problema y se titularon utilizando el método del Versenato (Etilen diamino tetracético)

Cálculos

$$\text{meq/l de } Ca^{++} + Mg^{++} = \frac{\text{ml E.D.T.A.} \times N_{EDTA} \times 1000}{\text{ml de alícuota}}$$

El  $Na^+$  y el  $K^+$  se determinaron, utilizando diferentes diluciones (para alcanzar la sensibilidad del aparato), en el fotómetro Perkin-Elmer con quemador de gas (flamometría). La lectura del aparato se llevo a las curvas concentración - transmitancia de  $Na^+$  y  $K^+$  respectivamente. Las unidades (12) de concentración de la curva son ppm. Por lo que para obtener los resultados en miliequivalentes por litro de Na y K respectivamente se efectuaron los siguientes cálculos.

$$\text{meq/l de Na}^+ = \frac{\text{ppm Na} \times \text{dilución}}{\text{pe de Na}}$$

$$\text{meq/l de K}^+ = \frac{\text{ppm K} \times \text{dilución}}{\text{pe de Na}}$$

4. Efectos del volumen de solución extractora utilizada para la evaluación de iones intercambiables y de solución lavadora para la determinación de C.I.C.

La solución extractora que se utilizó fué  $\text{AcNH}_4$  preparada a los siguientes pH: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12. Se eligió este reactivo por su eficacia para reemplazar a los cationes intercambiables, la facilidad con que puede eliminarse, y su compatibilidad con las determinaciones a realizar en el fotómetro ( $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ).

El método descrito para la extracción de iones intercambiables en "Manejo de Suelos bajo Riego" (25), propone que se utilicen 200 ml de solución extractora de  $\text{AcNH}_4$  y lavar el suelo con 100 ml de ETOH.

Al efectuar una serie de determinaciones se encontraron resultados discordantes, por lo que se procedió a hacer una serie de determinaciones a pH=7, utilizando diferentes volúmenes de  $\text{AcNH}_4$  y de ETOH llegando a la conclusión de que la relación óptima era de 500 ml de solución extractora y 300 ml de solución lavadora.

5. Influencia del pH en la valoración de los iones intercambiables y en la capacidad de intercambio catiónico.

Para las determinaciones de iones intercambiables y las capacidades de intercambio catiónico se hicieron también dos series de determinaciones, con el objeto de que los resultados sean más precisos.

Los valores del pH de la solución extractora fueron: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

Para la determinación de cada muestra .

Se pesaron 10g de suelo mezclándose con arena de cuarzo, por ser inerte y ayudar a un efecto mejor de la solución extractora. Se colocó después esta mezcla en un embudo de filtración rápida, empacado previamente con algodón y arena de cuarzo. En estas condiciones se hicieron pasar 500 ml de solución de acetato de amonio (a un pH diferente para cada muestra) teniendo la precaución de que el filtrado se efectuó lento y constante, una gota por segundo aproximadamente. De la solución obtenida se determinaron  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  intercambiables, utilizando los mismos métodos -- cuantitativos que para iones solubles.

Para determinar C.I.C. se lava el precipitado con 300 ml de una solución de etanol al 85%, dejándose reposar. El

lavado con alcohol se elimina. Posteriormente el suelo se pasa a matraces Kjedal adicionando 400 ml de agua destilada y un poco de  $MnO$ , que servirá para acelerar la digestión del suelo. Se destiló, hasta obtener un volumen de 200 ml., recibiendo en un matraz con 40 ml de  $H_3BO_3$  4N.

En el destilado se procedió a titular amonio con  $HCl$ . 1N utilizando como indicador verde de metilo, se termina de valorar cuando se obtiene el vire azul. El volumen de  $HCl$  utilizado en la valoración de nitrógeno amoniacal equivale a la C.I.C. en meq/l. Para la determinación de sodio intercambiable se necesitan los valores de C.I.C. en meq/100g de muestra de suelo.

Cálculos:

$$C.I.C. \text{ en meq/100g} = \frac{\text{miliequivalente por litro} \times 10}{\text{peso de la muestra en gramos}}$$

En el caso que nos ocupa como el peso de cada muestra fué de 10g la CIC en meq/l es igual que en meq/100g.

6. Porcentaje de sodio intercambiable. Se determinó a partir de los valores obtenidos de  $Na$  total,  $Na$  soluble y CIC.

Expresando todas las concentraciones en meq/100g de suelo.

$$P.S.I. = \frac{Na_T - Na_S}{CIC} \times 100 = \frac{N_I}{CIC} \times 100$$

$Na_T$  = sodio total

$Na_S$  = sodio soluble

$Na_I$  = sodio intercambiable

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

Cuadro No. 3. Variaciones del pH con respecto al PS.

PS	3	4	5	6	6.7	8	9	10	11	12	pH
1	10.00	10.10	10.00	10.0	9.95	10.10	10.00	10.10	9.9	10.1	
2	10.10	10.2	10.1	10.1	10.2	10.25	10.00	10.1	10.1	10.4	
3	10.10	10.2	10.2	10.1	10.2	10.3	10.20	10.2	10.2	10.7	
4	10.30	10.3	10.3	10.25	10.3	10.3	10.2	10.3	10.3	10.9	
5	10.30	10.3	10.4	10.3	10.3	10.35	10.3	10.3	10.4	11.1	
6	10.40	10.35	10.4	10.4	10.3	10.35	10.3	10.3	10.4	11.3	
7	10.40	10.4	10.45	10.4	10.35	10.35	10.4	10.3	10.4	11.4	
8	10.40	10.5	10.5	10.4	10.35	10.35	10.4	10.3	10.4	11.7	

Cuadro No. 4. IPS = 50% (saturación).

pH Sol.	pH Suelo	mmhos/cm CE	meq/l $\text{CO}_3^{=}$	meq/l $\text{HCO}_3^-$	meq/l $\text{Cl}^-$	meq/l $\text{SO}_4^{=}$	meq/l Ca+Mg	meq/l Na	meq/l K
3	10.0	33.10	-	128	257.55	2.80	16.025	430.00	21.48
4	10.0	32.89	-	125.58	260.25	2.60	11.40	443.04	21.48
5	10.0	33.32	-	127.51	261.75	2.56	7.125	448.69	21.48
6	10.0	33.10	-	122.19	278.55	2.52	3.675	448.69	23.69
6.7	9.95	36.31	-	96.00	282.3	2.50	3.675	448.69	23.69
8	10.1	32.46	64.88	46.00	290.5	2.31	2.6	456.95	24.61
9	10.0	34.82	70.92	44	301.3	2.27	2.25	469.56	27.65
10	10.1	36.31	72.5	-	310.7	1.98	1.55	469.56	27.65
11	9.9	44.85	77.00	-	307.0	1.83	.875	470.00	27.65
12	10.2	<sup>45 92</sup> 44.85	93.22	-	334.5	1.10	.85	469.56	27.65

Cuadro No. 5. 2PS = 100% (saturación).

pH Sol.	pH Suelo	mmhos/cm CE	$\text{CO}_3^{=}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{=}$	Ca+Mg	Na	K
3	10.1	44.85	-	178.8	333.75	6.58	29.1	450.45	25.12
4	10.2	45.28	-	174.4	333.75	4.50	20.6	486.00	25.12
5	10.1	46.13	-	171.94	337.5	4.16	11.6	486.94	25.12
6	10.1	54.00	-	167.1	345	4.08	4.5	487.82	25.12
6.7	10.1	46.77	-	119.0	345	4.00	4.5	515.20	25.12
8	10.25	45.75	100.00	50.00	352.5	3.75	1.3	547.82	28.72
9	10.05	45.75	101.32	49.00	336.25	3.75	1.12	547.82	28.72
10	10.05	45.71	104.22	-	356.00	3.66	1.10	547.82	28.72
11	10.1	48.27	111.94	-	358.5	3.5	1.10	596.52	28.72
12	10.3	54.80	180.00	-	366.00	3.16	1.05	706.08	32.30



Cuadro No. 6. PS = 150% (saturación)

pH Sol	pH Suelo	mmhos/cm CE	meq/l $\text{CO}_3^{=}$	meq/l $\text{HCO}_3^-$	meq/l $\text{Cl}^-$	meq/l $\text{SO}_4^{=}$	meq/l Ca+Mg	meq/l Na	meq/l K
3	10.1	52.54	-	194.16	300.00	15.56	41.85	213.9	26.91
4	10.2	51.26	-	192.00	305.00	12.18	28.05	295.64	26.91
5	10.2	49.34	-	191.25	350.00	11.06	14.40	321.74	26.91
6	10.1	48.06	-	185.46	355.00	9.75	3.90	495.00	26.91
6.7	10.3	47.84	-	130.50	355.00	9.37	3.90	521.73	26.91
8	10.30	49.34	111.00	46.5	360.00	9.37	1.575	521.73	26.91
9	10.30	49.34	118.68	45.00	360.00	9.0	1.425	526.29	30.75
10	10.25	51.26	125.91	-	374.00	8.43	1.20	542.85	30.75
11	10.2	52.54	118.68	-	375.00	7.68	1.125	613.05	30.75
12	10.6	55.10	159.21	-	375.00	-	1.105	743.46	30.75

Cuadro No. 7. PS = 200% (saturación)

pH Sol	pH Suelo	mmhos/cm CE	meq/l $\text{CO}_3^{=}$	meq/l $\text{HCO}_3^-$	meq/l $\text{Cl}^-$	meq/l $\text{SO}_4^{=}$	meq/l Ca+Mg	meq/l Na	meq/l K
3	10.3	55.53	-	199.00	335.00	33.33	52.4	452.16	25.36
4	10.3	54.68	-	209.64	335.00	23.33	35.20	469.56	26.76
5	10.3	52.12	-	195.12	335.00	23.00	16.60	484.00	27.68
6	10.25	50.72	-	183.52	340.00	20.33	3.2	497.12	27.68
6.7	10.3	49.12	-	136.00	345.00	19.00	.72	517.2	27.68
8	10.35	51.26	100.00	52.00	350.00	18.00	1.60	521.72	35.88
9	10.25	49.55	142.80	49.00	355.00	17.66	1.60	532.16	35.88
10	10.25	52.97	140.88	-	355.00	17.66	1.44	532.16	35.88
11	10.2	53.82	119.68	-	359.00	16.33	1.10	547.80	35.88
12	10.8	59.80	183.36	-	365.00	14.33	0.9	643.48	36.92

Cuadro No. 8. PS= 250% (saturación).

pH Sol	pH Suelo	mmhos/cm CE	$\text{CO}_3^{=}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{=}$	Ca+Mg	Na	K
3	10.4	55.43	-	219.75	306.25	58.85	65.5	434.75	20.50
4	10.4	53.40	-	210.10	318.75	40.10	44.00	450.00	25.6
5	10.4	53.40	-	208.91	331.25	38.54	20.75	469.55	28.45
6	10.4	52.33	-	188.35	331.25	38.54	4.0	469.55	30.75
6.7	10.25	49.98	-	150	337.5	34.37	4.0	469.55	30.75
8	10.35	48.06	107.5	46.25	337.5	33.33	2.375	555.00	34.60
9	10.25	50.19	118.2	42.5	356.25	32.29	2.05	519.55	34.60
10	10.30	54.46	130.25	-	362.5	31.77	2.0	539.10	34.60
11	10.5	55.53	147.15	-	365.00	29.16	1.5	556.5	38.45
12	11.2	60.23	180.95	-	387.5	25.52	1.5	666.95	40.35

Cuadro No. 9. PS = 300% (saturación).

pH Sol	pH Suelo	mmhos/cm CE	meq/l $\text{CO}_3^{=}$	meq/l $\text{HCO}_3^-$	meq/l $\text{Cl}^-$	meq/l $\text{SO}_4^{=}$	meq/l Ca+Mg	meq/l Na	meq/l K
3	10.4	56.39	-	226.02	345.	84.75	76.2	422.58	24.6
4	10.5	58.95	-	223.14	345.	75.00	50.1	446.04	24.6
5	10.5	55.10	-	221.70	360.	71.25	21.00	491.70	24.6
6	10.4	53.82	-	211.56	360.	68.25	2.58	491.70	28.2
6.7	10.3	49.98	-	150.00	360	63.00	2.40	491.70	30.72
8	10.45	53.82	120.0	51.00	360	55.5	2.40	500.82	34.62
9	10.35	53.82	127.38	46.8	372	52.5	2.25	521.70	41.52
10	10.35	55.10	136.02	-	375.00	51.75	2.16	542.58	41.52
11	10.5	56.39	133.14	-	375.00	51.00	1.65	542.58	41.52
12	11.5	69.20	199.80	-	375.00	41.25	1.35	734.10	41.52

Cuadro No. 10. PS = 350% (saturación).

pH Sol	pH Suelo	mmhos/cm CE	meq/l $\text{CO}_3^{=}$	meq/l $\text{HCO}_3^-$	meq/l $\text{Cl}^-$	meq/l $\text{SO}_4^{=}$	meq/l Ca+Mg	meq/l Na	meq/l K
3	10.4	56.39	-	236.67	332.5	116.37	85.54	375.6	28.7
4	10.3	58.30	-	233.32	350.00	116.37	64.4	451.92	28.7
5	10.4	52.33	-	226.51	351.75	115.35	24.50	511.28	28.7
6	10.3	50.83	-	213.01	353.5	98.00	2.52	520.1	28.7
6.7	10.3	51.26	-	159.25	358.75	95.95	2.45	521.92	32.27
8	10.35	56.81	108.08	50.75	367.50	93.91	2.20	535.64	33.39
9	10.35	56.81	124.95	50.75	367.50	93.91	1.4	535.64	33.39
10	10.3	59.80	128.31	-	367.50	89.83	1.4	572.18	33.39
11	10.5	59.80	141.75	-	367.50	86.77	1.4	575.19	48.44
12	11.1	114.49	216.23	-	399.00	83.70	1.085	739.55	48.44

Cuadro No. 11. PS = 400% (saturación).

pH Sol	pH Suelo	mmhos/cm CE	meq/l $\text{CO}_3^{=}$	meq/l $\text{HCO}_3^-$	meq/l $\text{Cl}^-$	meq/l $\text{SO}_4^{=}$	meq/l Ca+Mg	meq/l Na	meq/l K
3	10.3	65.78	-	227.92	336.00	238.66	94.8	417.36	24.56
4	10.35	64.93	-	216.04	340.00	238.66	60.0	438.24	24.56
5	10.4	63.22	-	212.48	340.00	230.66	25.2	445.2	24.56
6	10.4	58.09	-	208.64	350.00	228.	2.6	448.64	24.56
6.7	10.30	54.68	-	164.00	360.00	228.00	2.6	473.04	32.80
8	10.30	54.68	96.48	54.00	360.00	226.66	2.4	473.04	32.80
9	10.30	56.39	108.08	48.00	360.00	224.00	1.0	486.96	32.80
10	10.35	56.39	127.36	-	370.00	222.67	1.0	528.64	32.80
11	10.50	59.60	146.64	-	380.00	204.	1.0	653.84	40.96
12	11.20	114.00	247.17	-	380.00	190.66	.80	720.00	41.04

Cuadro No. 12 . A pH = 7 variación de la CIC con respecto a los volúmenes de solución extractora ( $A_c NH_4$ ).

Muestra	CIC	$A_c NH_4$
1	61.2	200
2	61.4	300
3	61.7	400
4	62.3	500
5	63.1	600
6	63.2	700
7	63.2	800
8	63.2	900
9	63.4	1000

Cuadro No. 13. A pH = 7 efecto de la solución lavadora -- (EtOH) sobre CIC.

Muestra	CIC	EtOH
1	61.2	100
2	61.4	150
3	61.7	200
4	62.3	250
5	63.1	300
6	63.1	350
7	63.1	400
8	63.2	450
9	63.2	500

Cuadro No. 14. Efectos del pH sobre la C.I.C. y el PSI. Los valores de las concentraciones de los iones y de C.I.C. están dados en meq/100g.

pH	C.I.C.	Na <sub>T</sub> <sup>*</sup>	Na <sub>S</sub> <sup>**</sup>	Na <sub>I</sub> <sup>***</sup>	P.S.I.
3	47.5	71.61	21.5	50.11	105.49
4	60.7	73.78	22.15	51.63	85.05
5	62.35	74.86	22.43	52.43	83.98
6	64.17	75.95	22.43	53.52	83.40
6.7	63.1	78.12	22.43	55.69	88.25
8.0	65	78.12	22.85	55.27	85.03
9	63	80.29	23.48	56.81	90.17
10	63	82.46	23.48	58.98	93.61
11	63	97.65	23.50	74.15	117.69
12	63	105.74	23.48	82.26	130.57

\* Na<sub>T</sub> = Sodio total Extraído.

\*\* N<sub>S</sub> = Sodio Soluble

\*\*\*N<sub>I</sub> = Sodio Intercambiable



Cuadro No. 15. Valores de PSI a diferentes valores de PS y pH

PS ↓	3	4	5	6	6.7	8	9	10	11	12	←pH
1- 50%	105.49	85.05	84.13	83.45	88.30	85.04	90.17	93.62	114.52	129.39	
2-100%	103.38	81.51	81.09	80.34	67.30	78.04	83.96	87.41	107.69	111.80	
3-150%	128.33	97.24	93.00	79.78	82.47	80.06	85.68	87.80	106.34	108.84	
4-200%	103.26	82.91	81.25	79.63	82.82	80.06	85.22	88.66	111.58	116.80	
5-250%	105.00	84.48	82.42	81.78	86.60	80.56	86.22	88.11	110.84	114.92	
6-300%	106.33	84.81	80.62	80.05	84.85	80.06	86.04	87.84	111.90	109.58	
7-350%	111.25	84.33	79.06	77.84	82.45	79.98	84.93	85.49	109.34	109.19	
8-400%	106.84	85.45	84.36	83.40	86.32	83.80	88.80	88.93	99.93	110.69	

Cuadro No. 16. Valores de sodio soluble, en meq/100 de suelo, a diferentes PS y pH.

PS ↓	3	4	5	6	6.7	8	9	10	11	12	←pH
1- 50%	21.5	22.15	22.4	22.4	22.40	22.84	23.48	23.48	25.5	23.48	
2-100%	22.5	24.30	24.3	24.39	25.75	27.39	27.39	27.39	29.8	27.39	
3-150%	10.65	14.75	16.87	24.75	26.08	26.08	26.31	27.14	30.65	27.14	
4-200%	22.6	23.45	24.20	24.85	25.86	26.08	26.60	26.60	27.35	26.60	
5-250%	21.73	22.50	23.47	23.47	23.47	25.75	25.97	26.95	27.82	26.95	
6-300%	21.1	22.30	24.58	24.58	24.58	26.08	26.08	27.12	27.12	27.12	
7-350%	18.78	22.59	25.56	26	26.09	26.78	26.78	28.60	28.76	28.60	
8-400%	20.86	21.91	22.26	22.43	23.65	23.65	24.34	26.43	32.69	26.43	

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por lo que se puede observar en los cuadros de resultados para los suelos del Lago de Tezcoco podemos concluir:

1. Aunque se utilizaron soluciones para extraer las sales solubles, con diferentes pH, se observó que el pH del suelo se mantuvo relativamente constante, aún cuando los rangos de pH fueron extremos (3-12). Esto nos comprueba, la capacidad amortiguadora del suelo.
2. Los valores de Conductividad Eléctrica (CE) permaneciendo el Porcentaje de Saturación (PS) constante, presentan valores relativamente más altos a pH extremos (3 y 12) y tienden a tener una disminución al pH del agua destilada. La variación de la Conductividad Eléctrica con respecto al Porcentaje de Saturación (PS) teniendo pH constantes aumenta conforme aumenta el Porcentaje de Saturación (PS) Hasta alcanzar un valor más o menos constante, lo que indica que cuando se usa un Porcentaje de Saturación (PS) como valor de extracción en suelos con altos contenidos de sales; se pueden cometer errores significativos al estimar las sales solubles, los cuales a su vez, pueden transmitirse al calcular valores como el de PSI.

El porcentaje de variaciones entre usar un Porcentaje de Saturación (PS) y el Porcentaje de Saturación (PS) al cual se extraen la mayor parte de las sales solubles es de -

considerarse, ya que al hacer la extracción de las sales con diferentes cantidades de agua se van a cometer errores dentro de este rango.

3. La concentración de los iones solubles presenta una tendencia clara de aumento con respecto al Porcentaje de Saturación (PS) a pH constantes. Los bicarbonatos, sulfatos y calcio + magnesio disminuyen su concentración conforme aumentas los valores de pH a Porcentos de Saturación (PS) constantes. Los valores de carbonatos, cloruros, sodio y potasio presentan una ligera tendencia de aumento de concentración hacia valores alcalinos de pH.
4. Se analizó que para cada suelo se deben hacer diferentes determinaciones de CIC y iones intercambiables, variando tanto los volúmenes de solución extractora ( $A_c NH_4$ ) como el de solución lavadora (EtOH). Esto se hace con el objeto de encontrar la relación óptima a la cual se extraigan la mayor cantidad de iones intercambiables y por lo tanto la CIC se determine más correctamente. Para así de esta manera, saber las necesidades reales del suelo con respecto a mejoradores, fertilizantes, etc.

Se encontró que para este suelo los volúmenes que dieron valores constantes fueron: 500 ml. de solución extractora de  $A_c NH_4$  y 300 ml. de solución lavadora de EtOH.

5. La CIC a diferentes pH fué aumentando hasta pH de 6.7, permaneciendo sus valores casi constantes a partir de ese punto hasta pH = 12. Lo que indica que si a estos suelos se les abate el pH se neutralizan cargas electros

táticas negativas en el complejo de intercambio. El error estimado que se puede cometer en este es alrededor del 25%.

6. El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) tuvo valores relativamente constantes a pH de 4-10 y a Porcentaje de Saturación (PS) de 50%-400%, no ocurriendo lo mismo con los valores extremos de 3, 11 y 12. Estas variaciones posiblemente se deban a la disolución de sodio que normalmente se encuentra fijado en las zeolitas que son comunen en suelos salados derivados de cenizas volcánicas. Como es el caso de los suelos del vaso del ex-Lago de Tezcoco.

Se recomienda que para confirmar ésto se hagan investigaciones posteriores que profundicen sobre este problema.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aldrichi, D.G. y Schooner, W.R. (1951). Yeso y otros materiales sulfurados para condicionamiento del suelo. Col. Agr. Exp. Sto. Circular 403.
2. Bear. (1963). Suelos y Fertilizantes. Ediciones Omega - Barcelona, España.
3. Biggar, J.W. and Nielsen, D.R. (1963). Miscible displacement. Soil Science Soc. Amer. Proc. 27, pag.623-627.
4. Black, C.A. (1975). Relaciones Suelo-Planta. Tomo I pág. 403-408. Editorial Hemisferio Sur Buenos Aires. Argentina.
5. Bower, C.A. (1959). Cation exchange equilibrio en soil - affected by sodium salts. Soil Science 88-32-35.
6. Bower, C.A. (1959). Enmiendas químicas para mejora de suelos sódicos. Agr. Inf. Bul 195 Departamento de Agricultura U.S.A.
7. Bower, C.A.; Reitemeir, R.F. and Fireman, M. (1952). -- Exchangeable Cation Analysis of Saline and Alkali soils. Soil Science Vol. 73-4 pag. 251-261.
8. Buckman O. Harry y Nyle C. Brody. (1975). Naturaleza y - Propiedades de los suelos. Pág. 94-102. Editorial Montaner y Simón, S.A. Barcelona España.

9. Bulter, J.N. (1968). Cálculos de pH y de solubilidad. - Fondo Educativo Interamericano, S.A. Bogotá Co lombia.
10. Corey B. Richard. (1968). Química de Suelos. Colegio - de Postgraduados, E.N.A. Chapingo, Méx.
11. Davis, S.E. (1945). Simple Kinetic Theory of Ionic -- Exchange for Ions of Unequal Charge. Journal - Physics Chemistry No. 44 pag. 473-479.
12. Diagnostico y Rehabilitación de suelos, salinos y sódicos.(Traducción del Handbook 60 USDA). (1973). Editorial Limusa. México.
13. Fireman, M. and Waldleigh, C.H. (1952). Indicator --- Significance of Some Shrubs in the Escalante - Desert. Bot. Gaz. No. 114. pag. 143-155. UTAH.
14. Gapón E.N. (1933). Theory of Exchange Adsorption in - Soils Journal General Chemistry. No. 3. Pag. - 144-152.
15. Gaucher, G. (1971). Tratado de Pedología Agrícola "El Suelo y sus Características Agronómicas" Pág. 305-340. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España.
16. Guggenheim, E.A. (1945). Statistical Theormodynamics of Mixture with zero Energics of Mexing. Roy Soc. London. Proc. Serie A No. 183 pag. 203-213
17. Hamilton and Simpson. (1960). Calculation of Analytical Chemistry Mc. Graw Hill Book Company Inc.

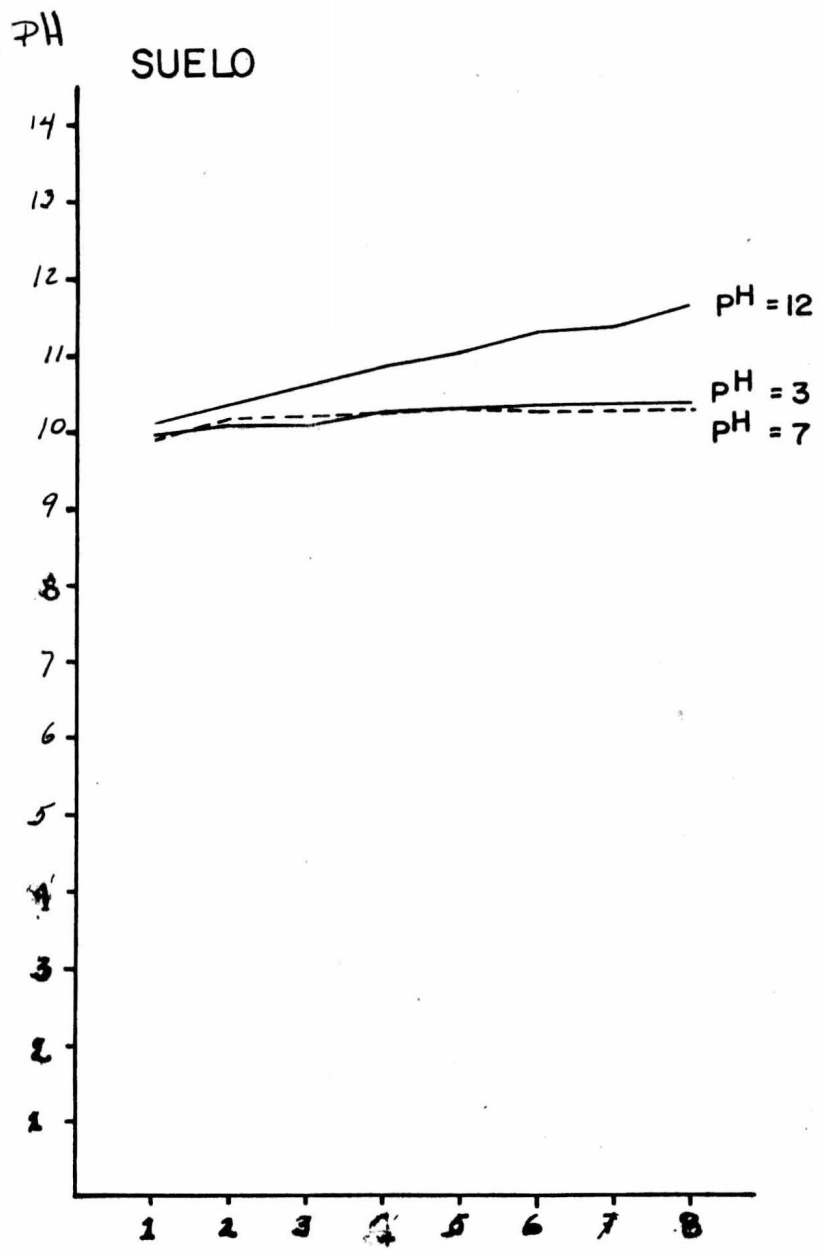
18. Hilgard E.W. (1906). Soils, their Formation, Properties, Composition and Relations to Climate and -- Plant Growth. pag. 593-596. New York-London.
19. Informe del Consejo Nacional de los Estados Unidos para la Planeación de los Recursos. (1942). pág. 263-334.
20. Jackson, M.L. (1964). Análisis Químicos de Suelos. Editorial Omega, S.A. Barcelona-España.
21. Juárez, C.M. (1967). Prácticas de lavado de un suelo salino-sódico del Lago de Tezcoco. Tesis Profesional. E.N.A., Chapingo, México.
22. Kelley. (1948). Cation Exchange in soils. Reinhold -- Publishing Cooperation, New, York, U.S.A.
23. Kelley W.P. (1951). Suelos Alcalinos, su formación, - propiedades y restauración. Reinhold New York.
24. Krishnamoorthy, C. and Overstreet, R. (1950). An. -- Experimental Evaluation of Ion Exchange - Relationships. Soil Science No. 69. pag.41-53.
25. López Bonilla R. y Fernández G.R. (1962). Manejo de - Suelos Bajo Riego. E.N.A. Chapingo, México.
26. Lougmans, Green and Co. Ltd. (1948). Soil Conditions - and Plant Grwth London England.
27. Ludler y Zuffanti. (1950). Teoría Electrónica de Acidos y Bases. Ed. Alsina. Buenos Aires-Argentina.



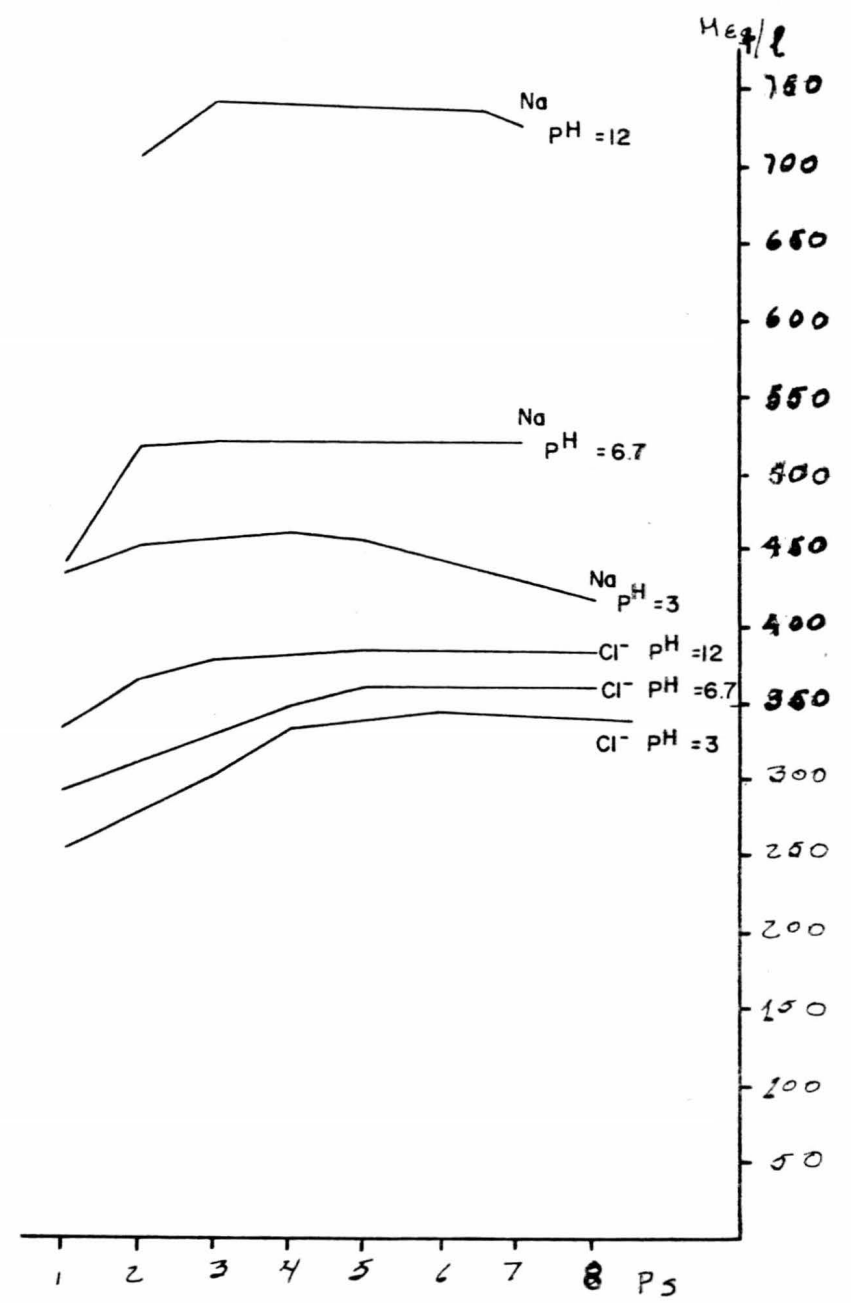
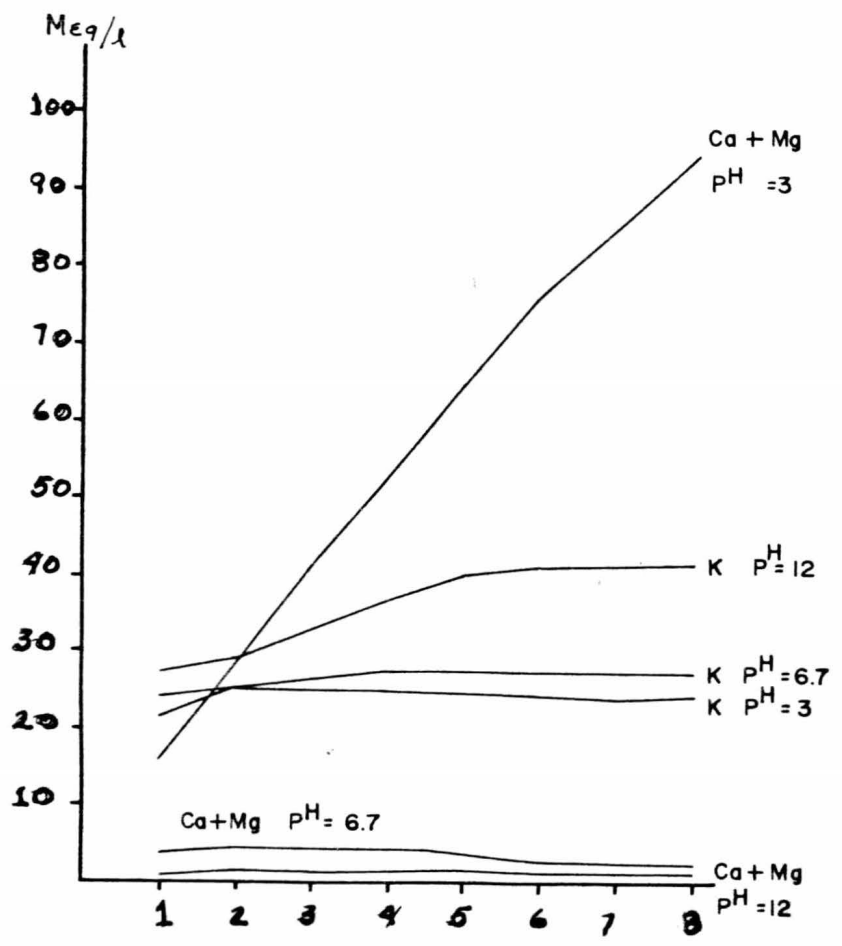
28. Marshall. (1935). Colloids in Agriculture. Edward -- Arnold and Co. London, England.
29. Martin, J. P., Richards, S. J. and Pratt P.F. (1964). Relationships of Exchangeable Sodium Percentage at Different soil pH level to Hydraulic Conductivity. Soil Science Vol. 25-5 pag. 620-622.
30. Mattson S. and Wiklander, L. (1945). The Amphoteric - Points, the pH and the Donnon Equilibrium. Soil Science 49 pag. 109-134.
31. Mc George, W.T. and Green R.A. (1951). Adsorption of -- Gypsum by Semiared Soils Arizona Agronomy - Experiment Sta Tech. Vol. 137 pag. 1-49.
32. Millor C.E. Turk L.M. and Foth H.D. (1971). Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Pág. 467-476. Ed. C.E.C.S.A. México, D.F.
33. Ojeda Ortega Donaciano. (1965). Química Agrícola Apli- cada. E.N.A. Chapingo, Méx.
34. Olgún Palacios Carlos. (1969). Observaciones sobre el empleo de Corriente Eléctrica Directa, en la Recuperación de un Suelo Salino-Sódico. Tesis Profesional. E.N.A. Chapingo, Méx.
35. Ortega Escobar Hector Manuel. (1976). Cambios Físicos- Químicos de suelos del Vaso del Ex-Lago de Tezcoco, su jetos a lavados con diferentes soluciones. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, E.N.A. Chapingo, Méx.

36. Primo Yúfero E. y Carrasco D.J.M. (1973). *Química Agrícola Suelos y Fertilizantes*. Ed. Alahambra - Madrid. España.
37. Reitemeir R.F.(1946). Effect of Moisture Content on the Dissolved and Exchangeable Ions of Soils of Arid Region. *Soil Science* Vol. 61-3 pag.195-214.
38. Reitemeir, R.F. (1943). *Semimicro Analysis of Saline Soil Solutions Industrial and Engineering Chemistry Analytical*. Edition 15 pag. 393-402.
39. Rivera, Díaz Jorge M. (1975). *Estudio de las propiedades mineralógicas y termodinámicas de los sedimentos superficiales del ex-Lago de Tezcoco*. Tesis Profesional. E.N.A. Chapingo, Méx.
40. Russell E.W. and Russell J. (1968). *Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas*. Pág. 110-136. Ed. Aguilar Madrid, España.
41. Schofield, R.K. (1947). A ratio Law Governing the Equilibrium of cations in the soil solution. *Internacional Congress Pure Application Chemistry* Vol No. 3 pag. 257-261.London-England.
42. Sigmoud, A.A.J. De. (1928). *The Alkali Soils in Hungary and their reclamation*. *Soil Science* 18 pág. 379-381.
43. *Soil Survey Manual*. (1931). U.S. Department Agrary - Hamdbook No. 18. Pág. 503 Washington, D.C.

44. Thorm D.W. y Peterson H.B. (1954). Suelos Regados. Filadelfia y Toronto. Blakeston.
45. Ureña C.C.T. (1975). Estudio preliminar para la utilización de diversos mejoradores y láminas de lavado para la recuperación de los suelos salino-sódicos del ex-Lago de Tezcoco. Tesis Profesional E.N.A. Chapingo, México.



ANEXO I.- pH DEL SUELO A PS DIFERENTES PARA pH DE SOL EXTRACTORA



ANEXO 2 .- CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES-PS

# ANEXO 3 CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES - P S

pH=3    pH=6.7    pH=12

$\text{CO}_3^{2-}$   
pH=12

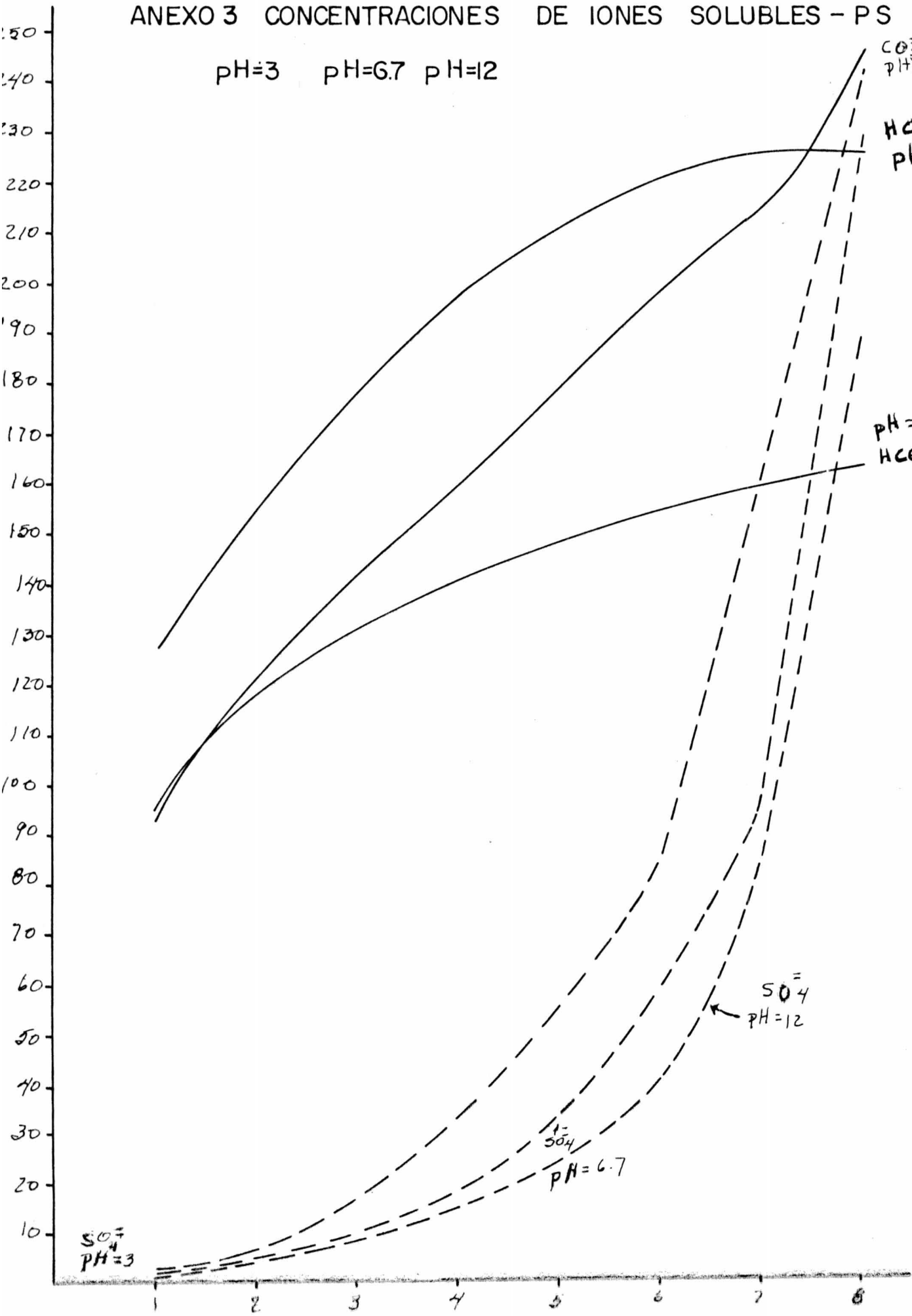
$\text{HCO}_3^-$   
pH=3

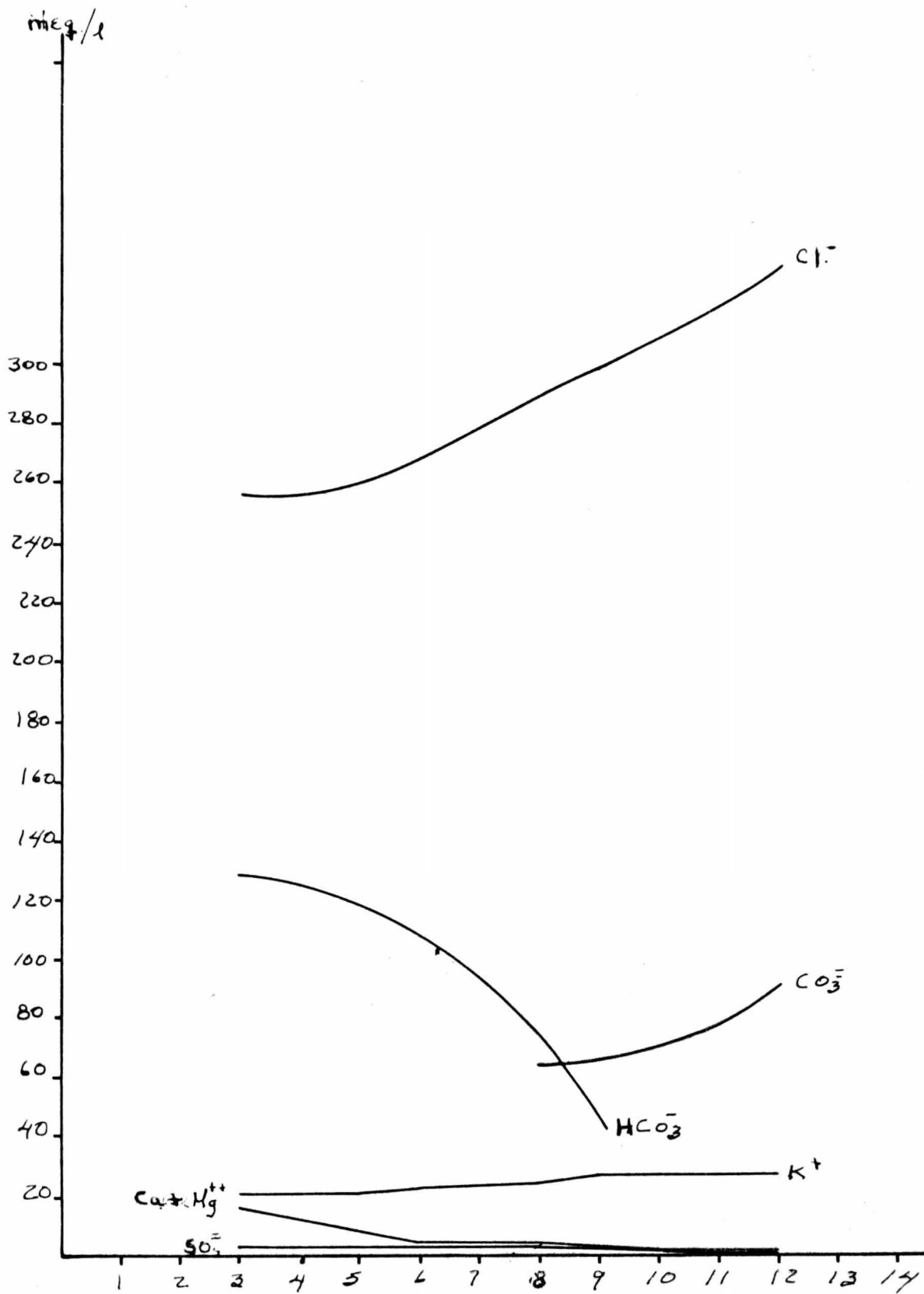
pH=6.7  
 $\text{HCO}_3^-$

$\text{SO}_4^{2-}$   
pH=12

$\text{SO}_4^{2-}$   
pH=6.7

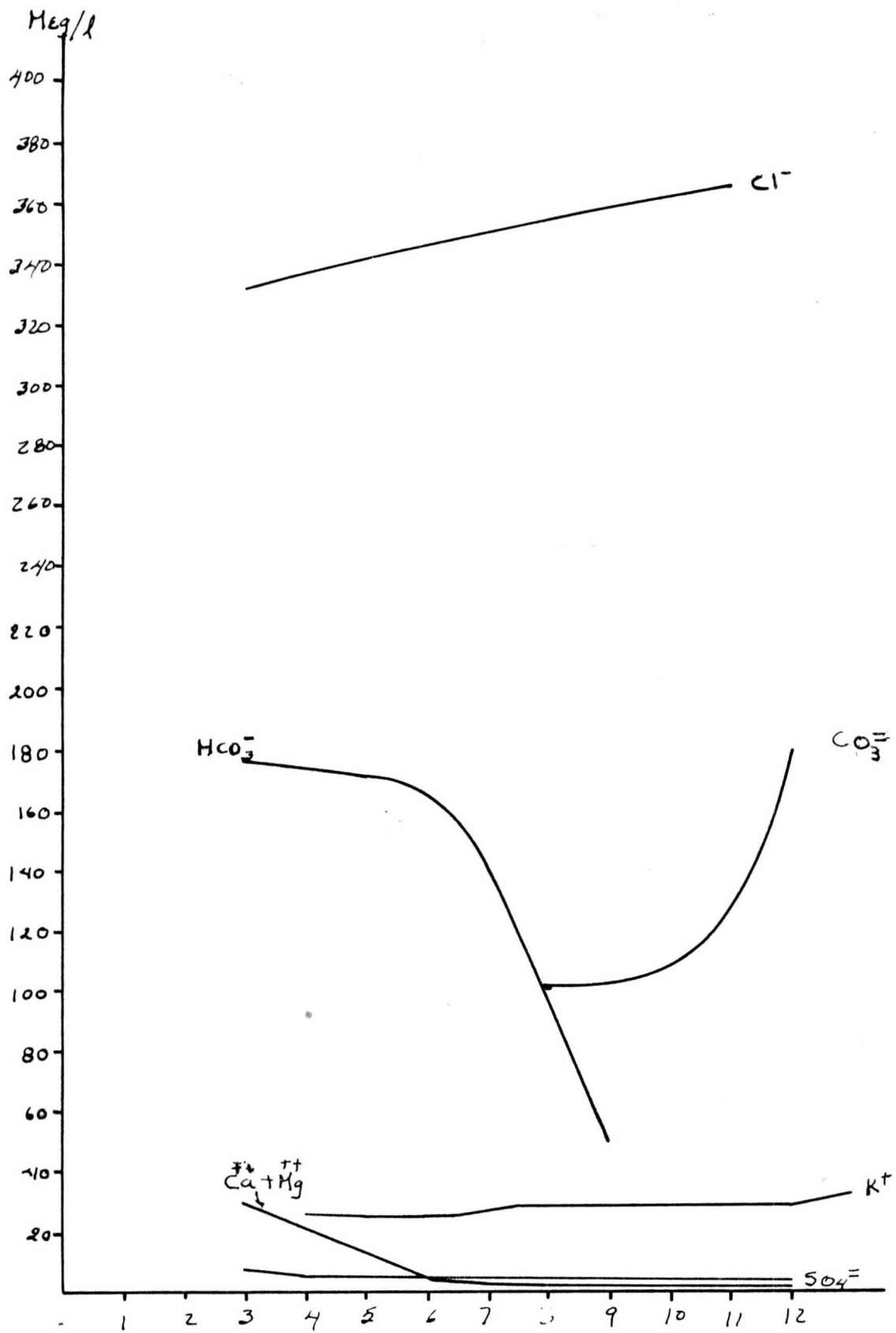
$\text{SO}_4^{2-}$   
pH=3





ANEXO 4 CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES - pH

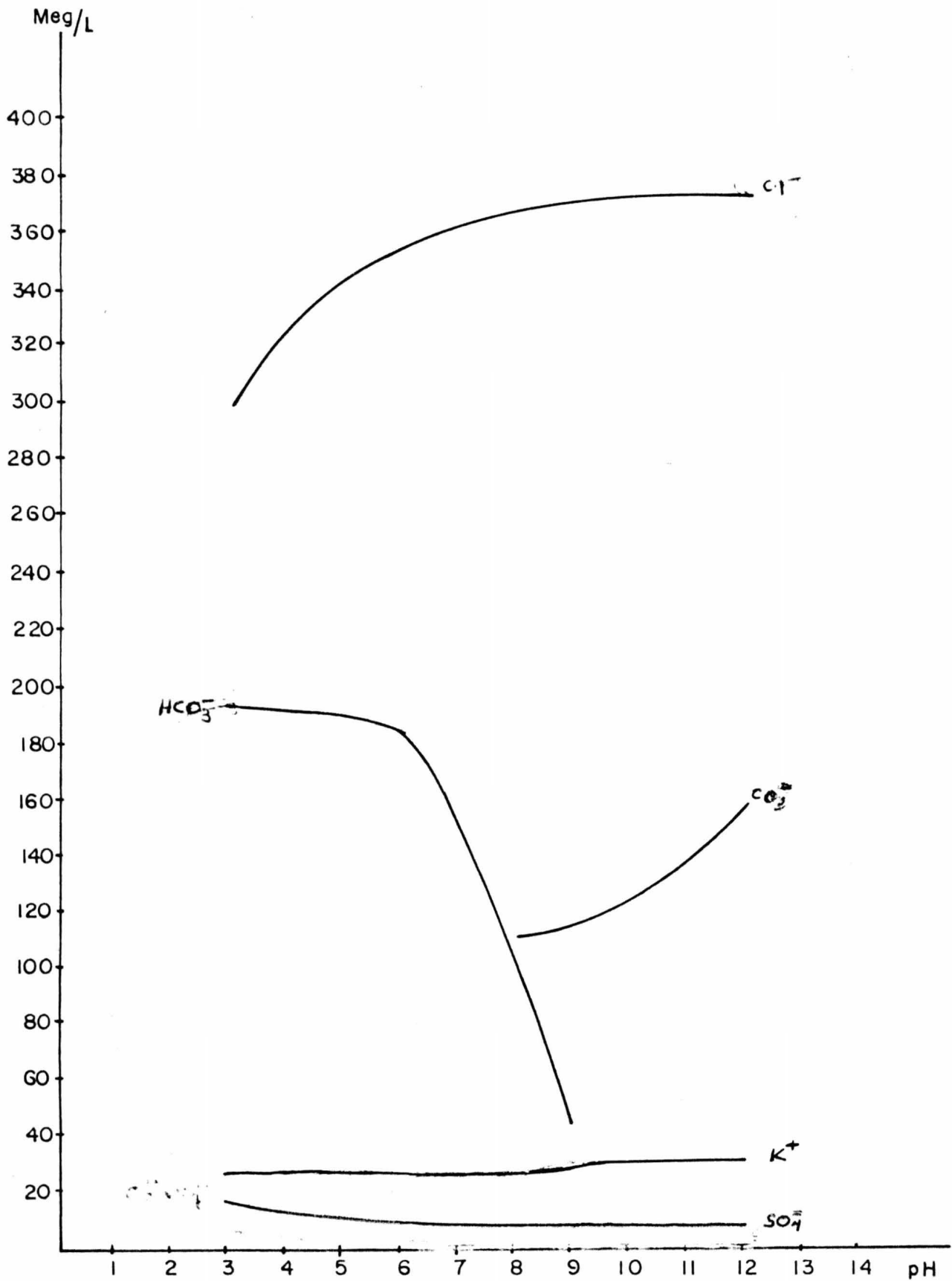
I PS - 50%



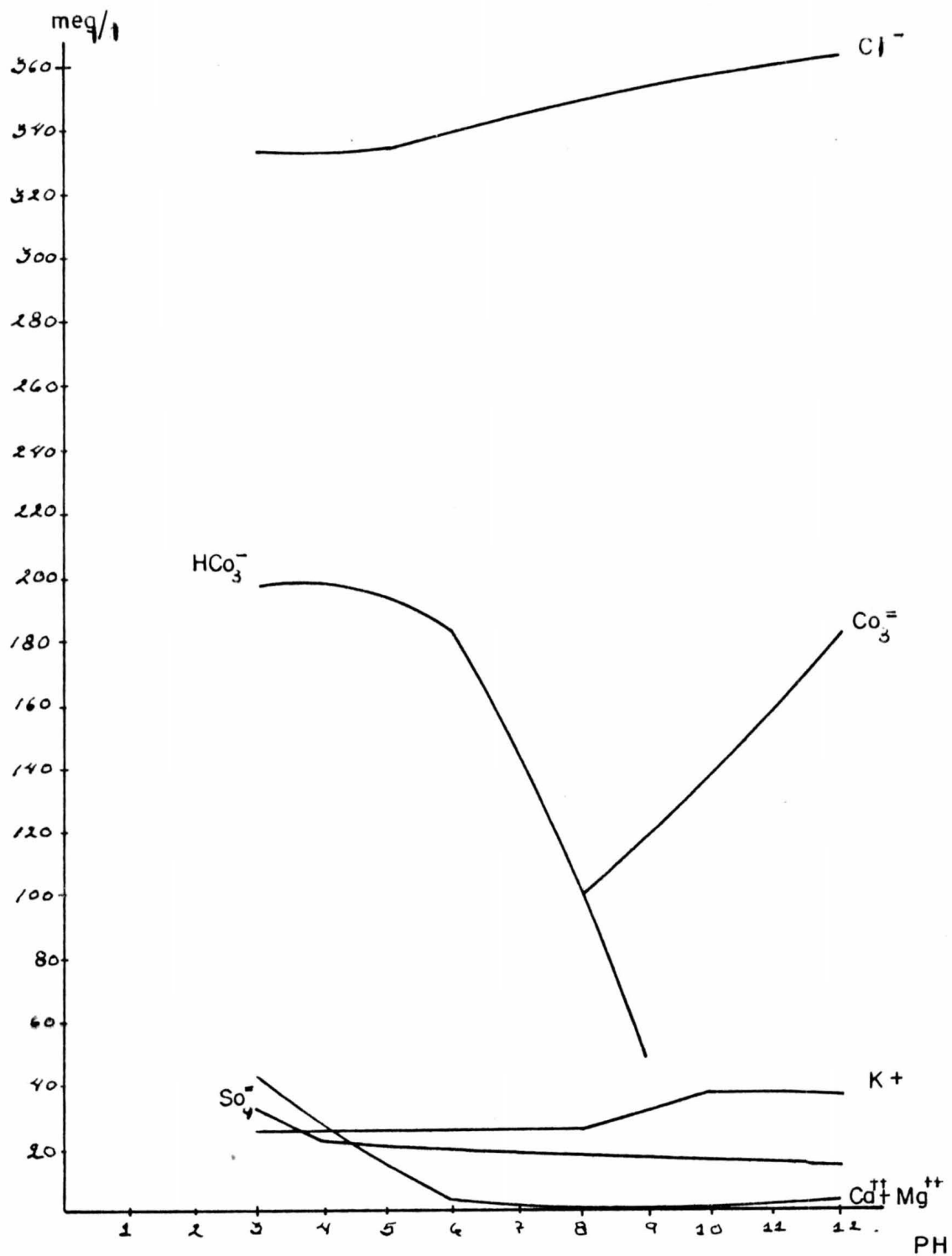
ANEXO 5. CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES - PH

2 PS = 100 %



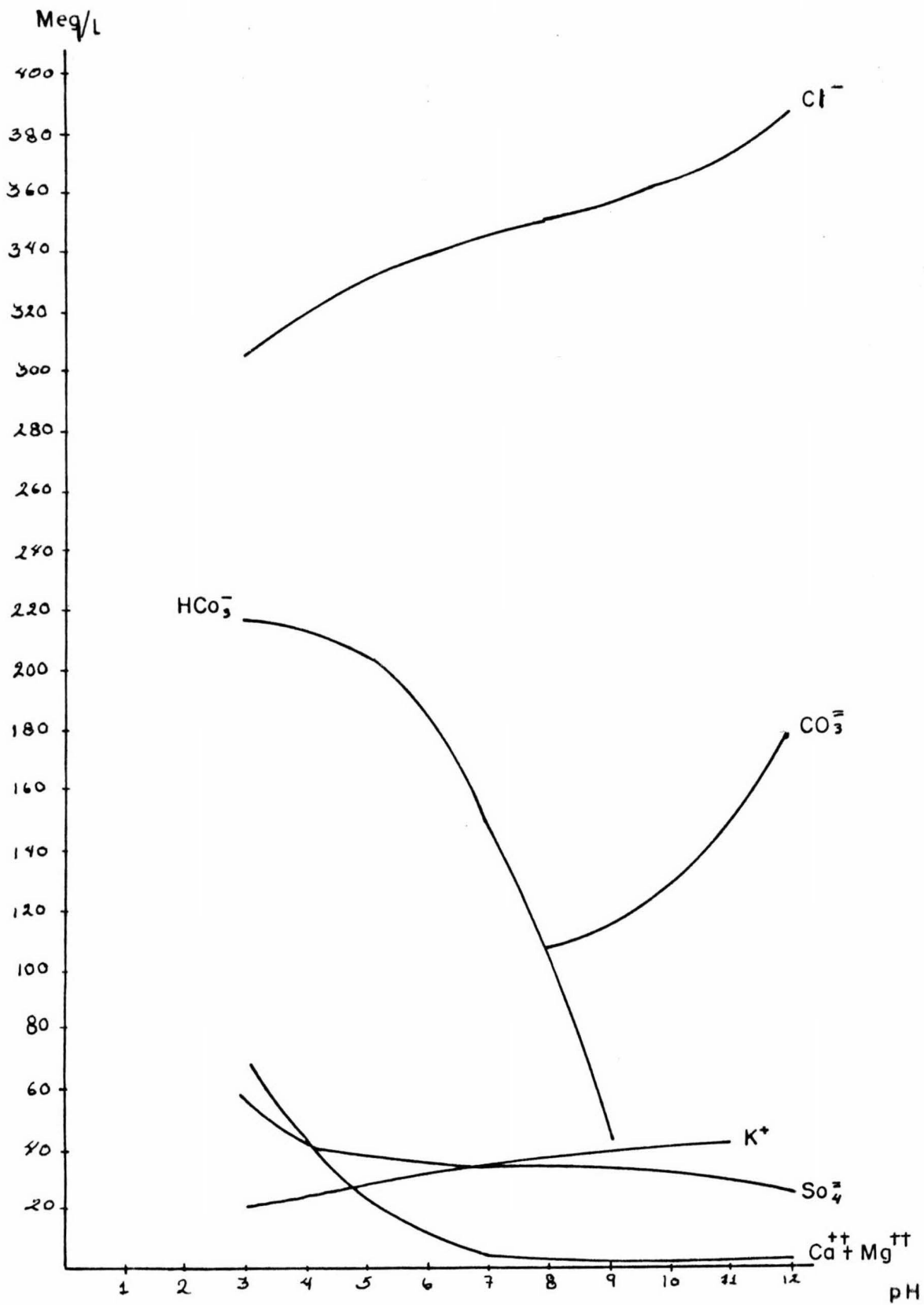


ANEXO G.- CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES - pH 3Ps = 150°



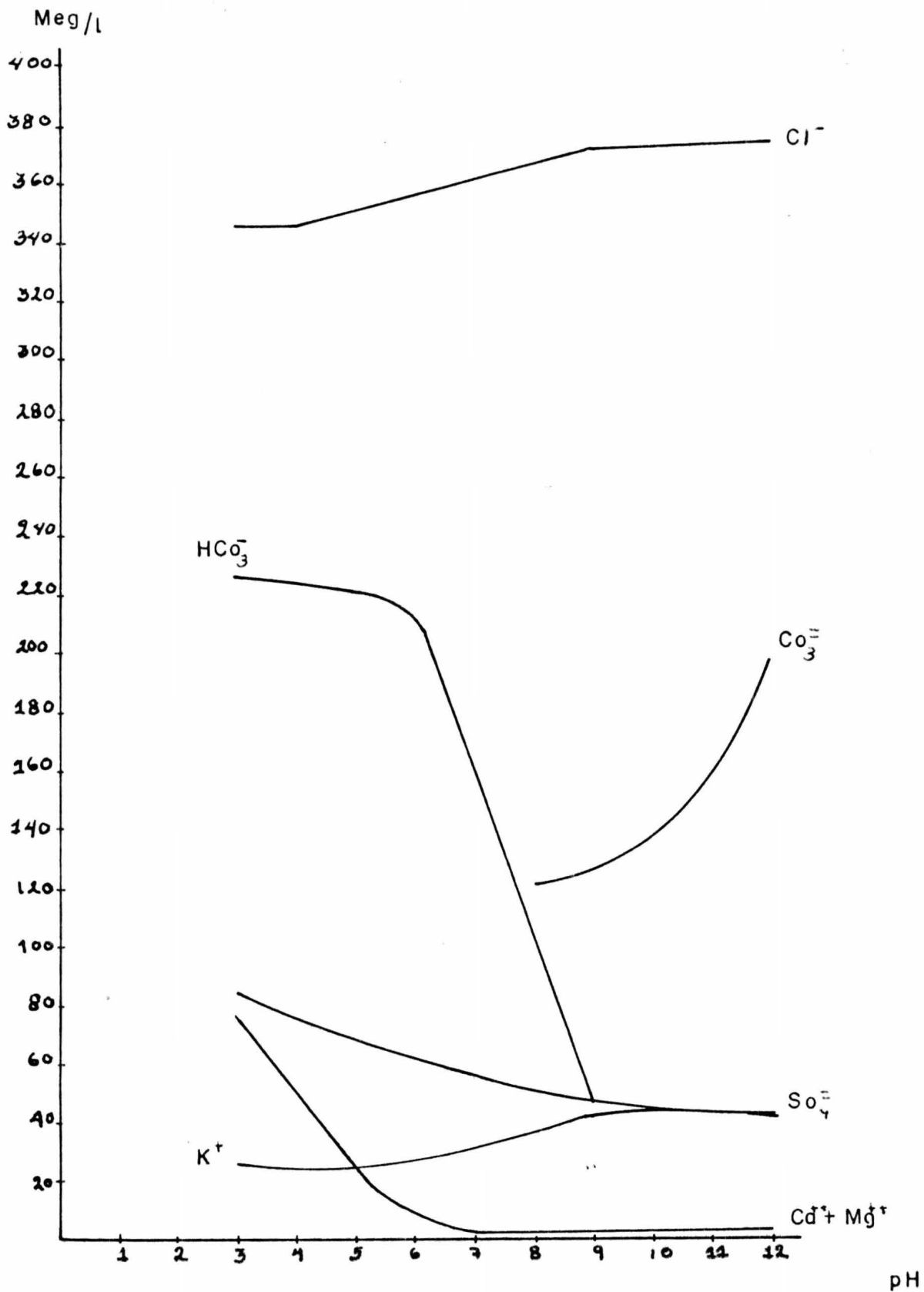
ANEXO 7.- CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES - pH

4 PS = 200 %



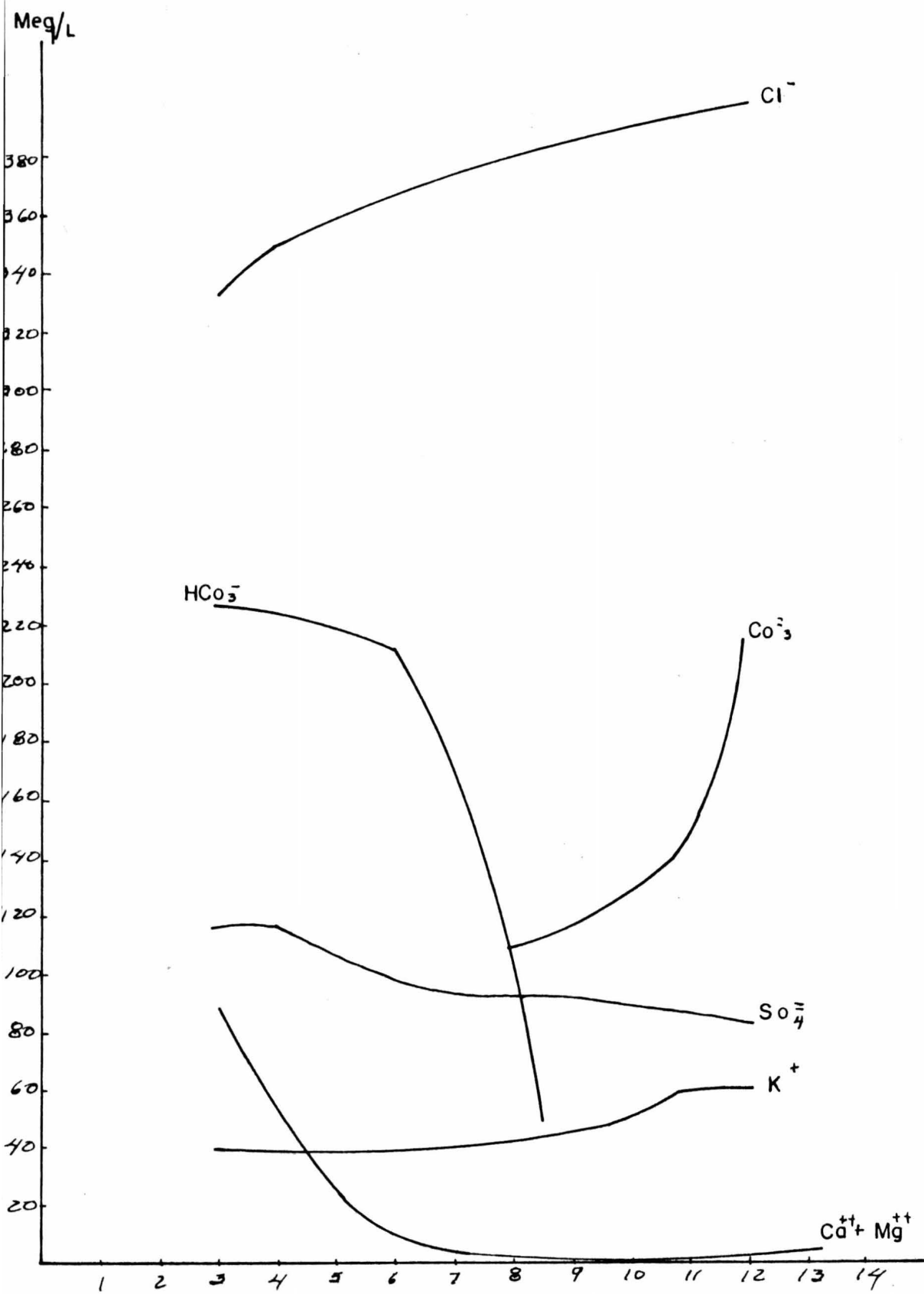
ANEXO 8.- CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES - pH

5 PS = 250 %



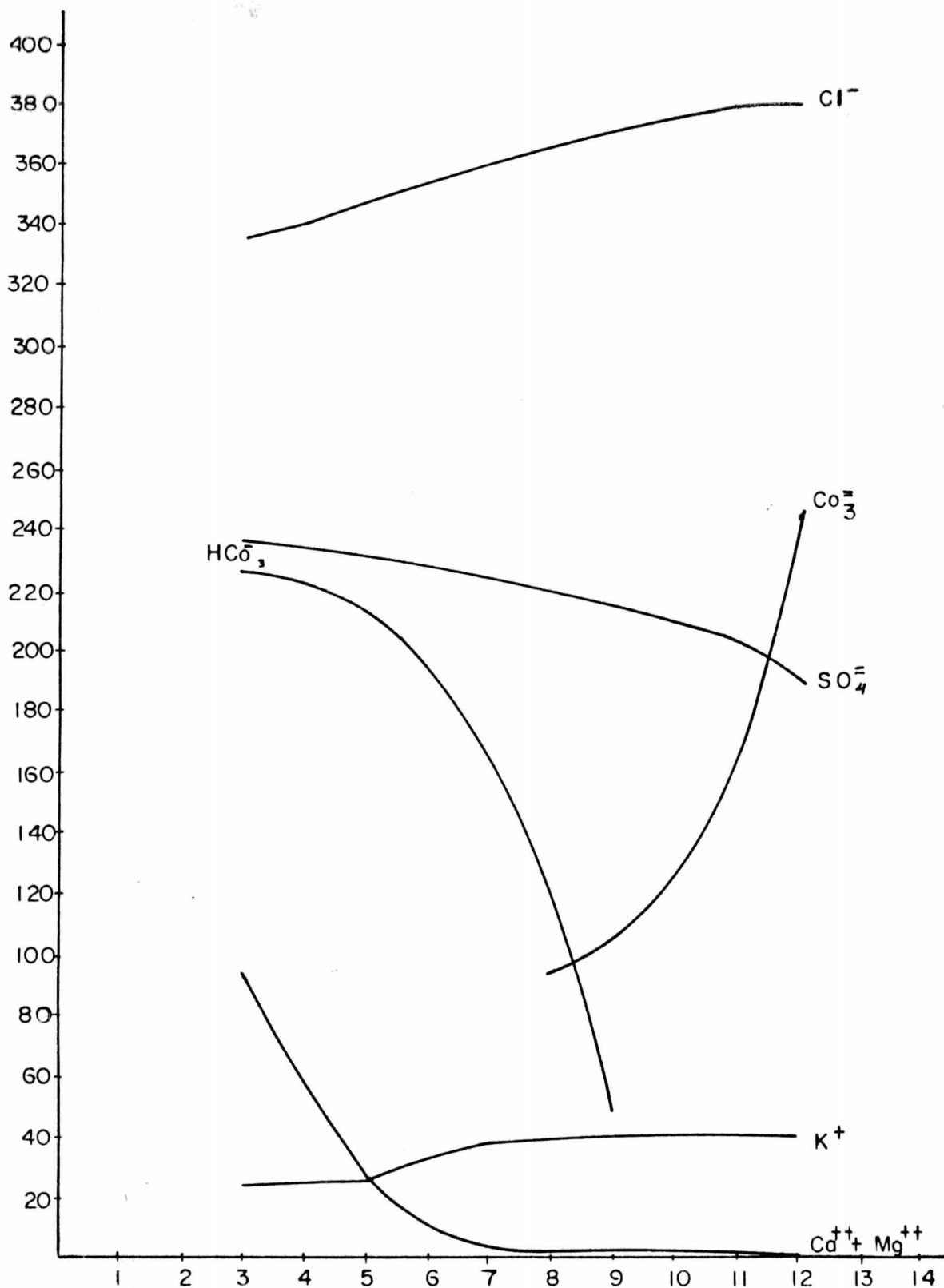
ANEXO 9.- CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES - pH

G PS = 300 %



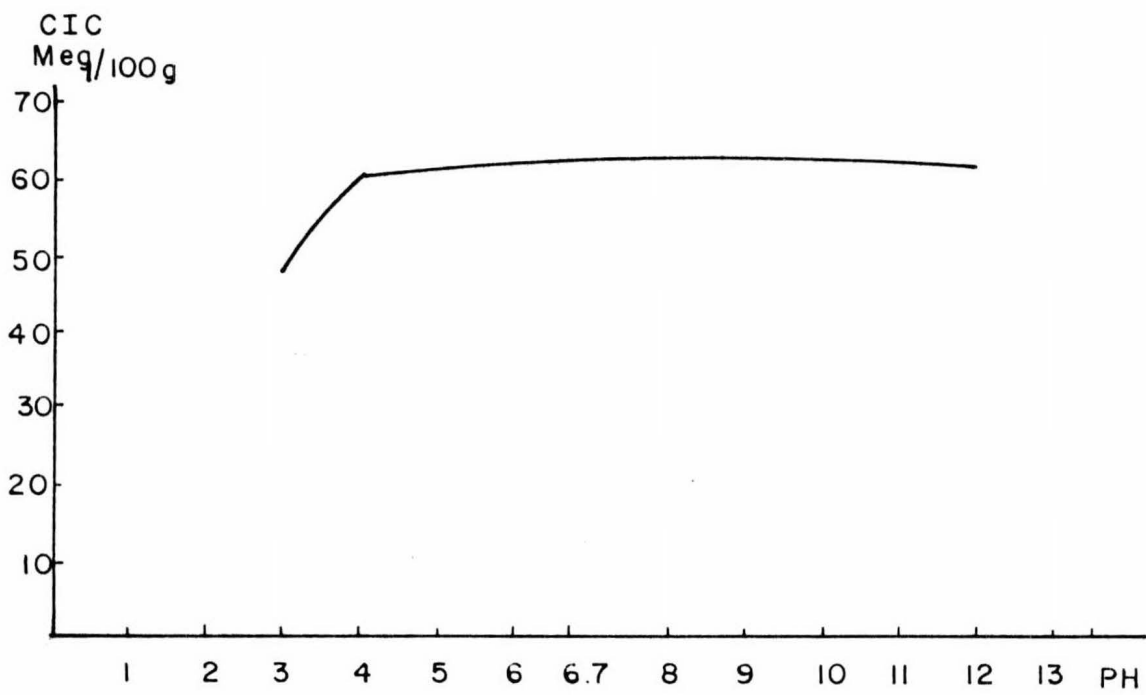
ANEXO 10 CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES - pH

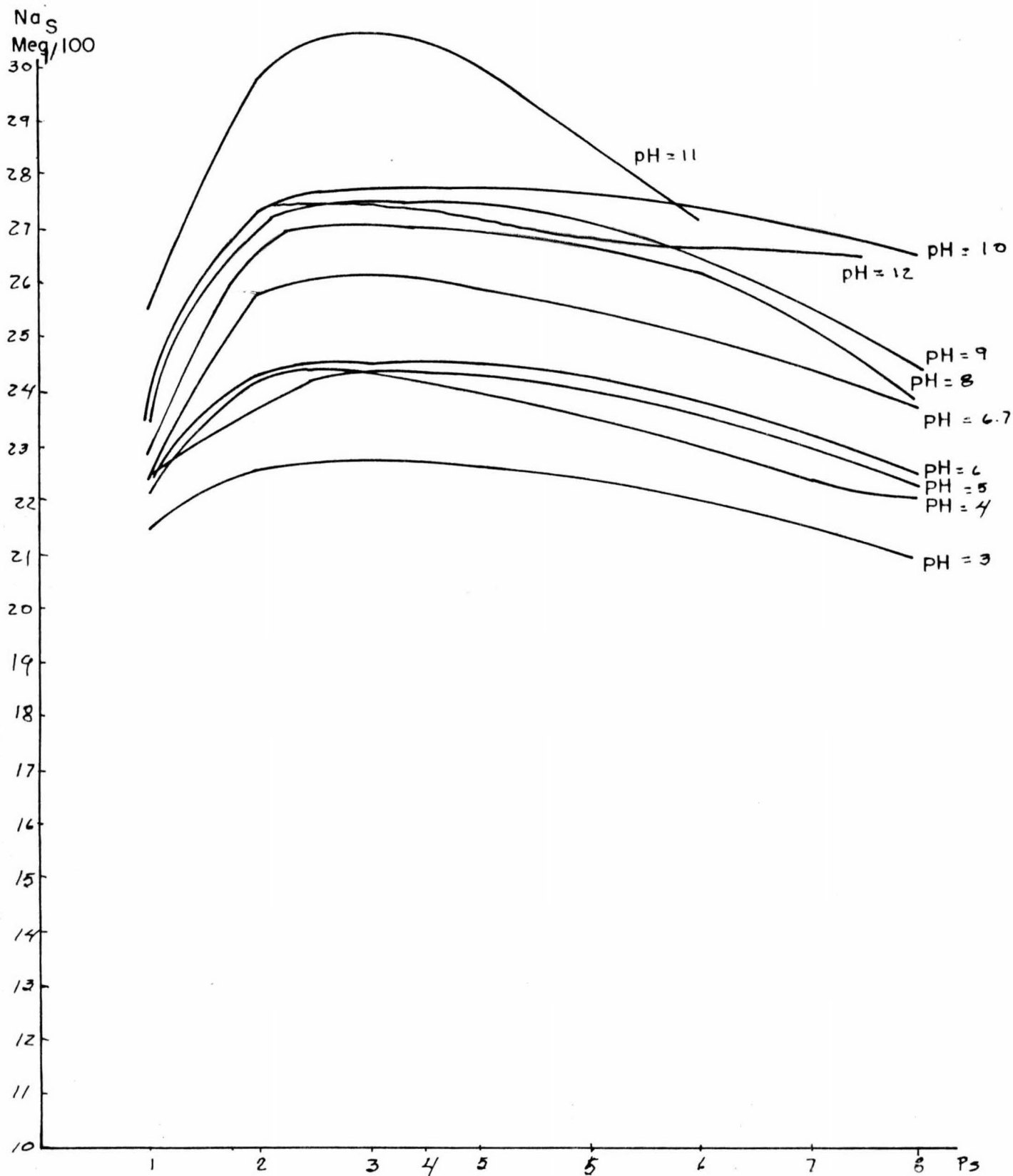
7 PS = 350 %



ANEXO II.- CONCENTRACIONES DE IONES SOLUBLES - pH

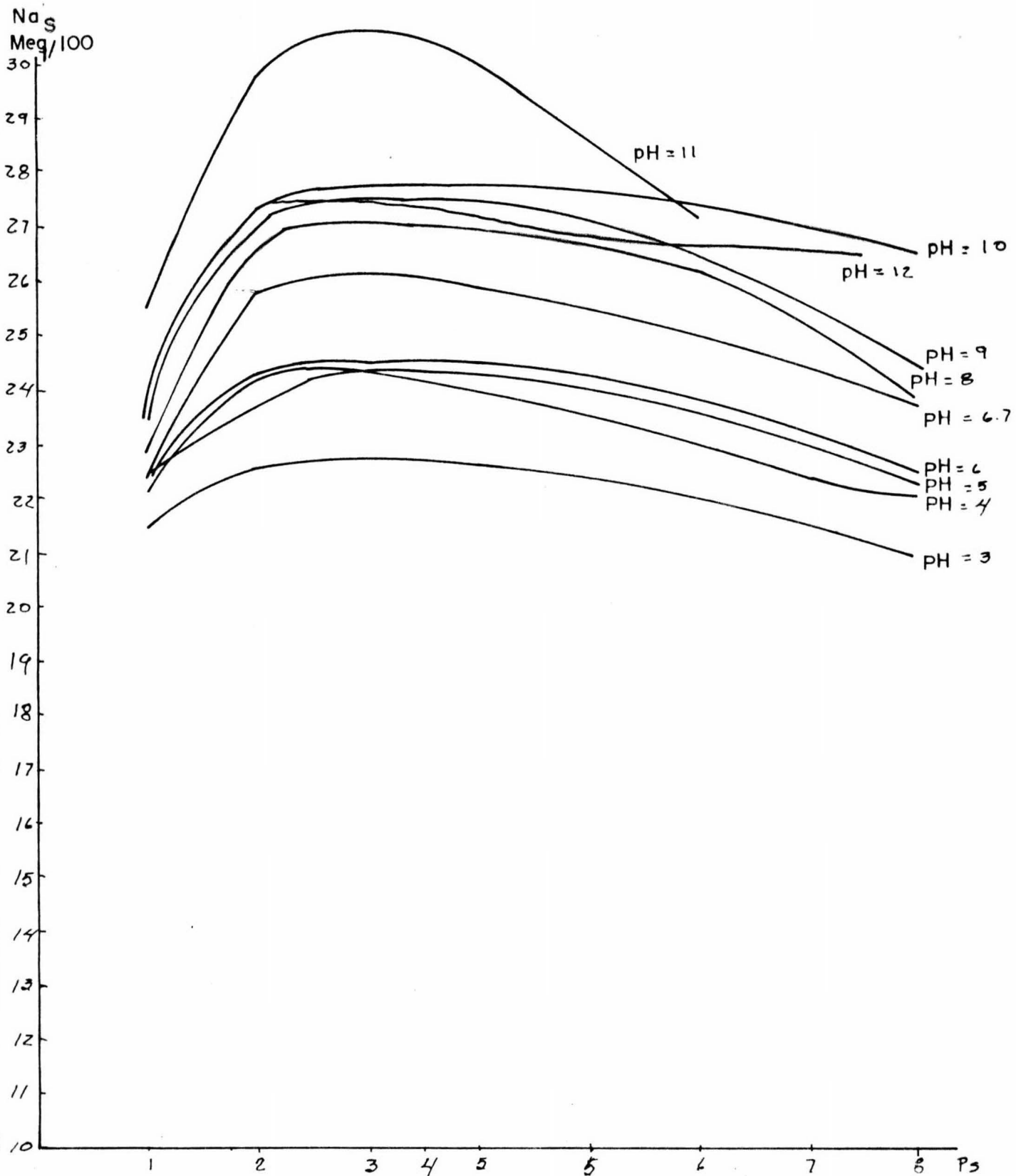
# ANEXO 12.- EFECTOS DEL pH SOBRE CIC



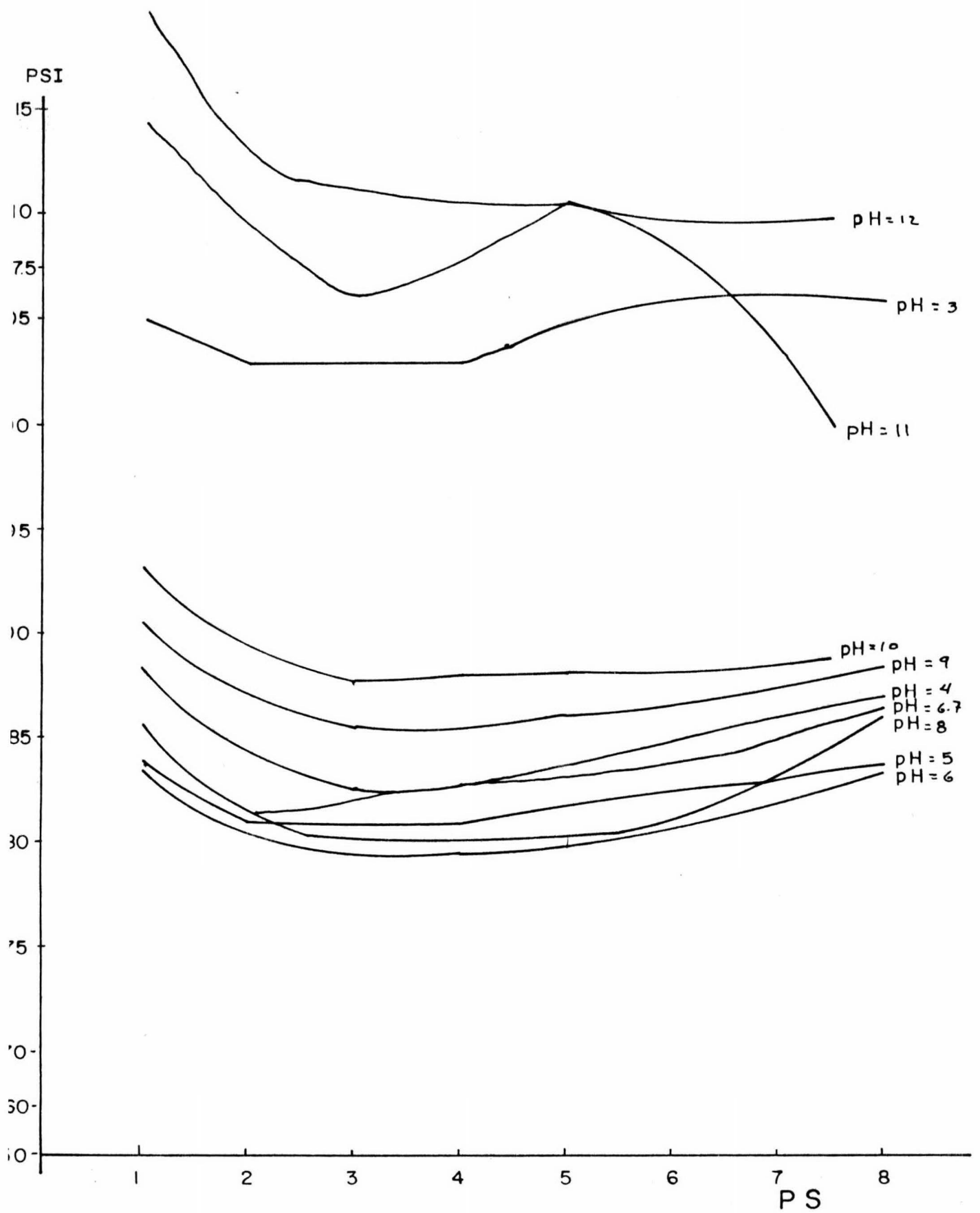


ANEXO 13.- SODIO SOLUBLE - PS PARA CADA pH

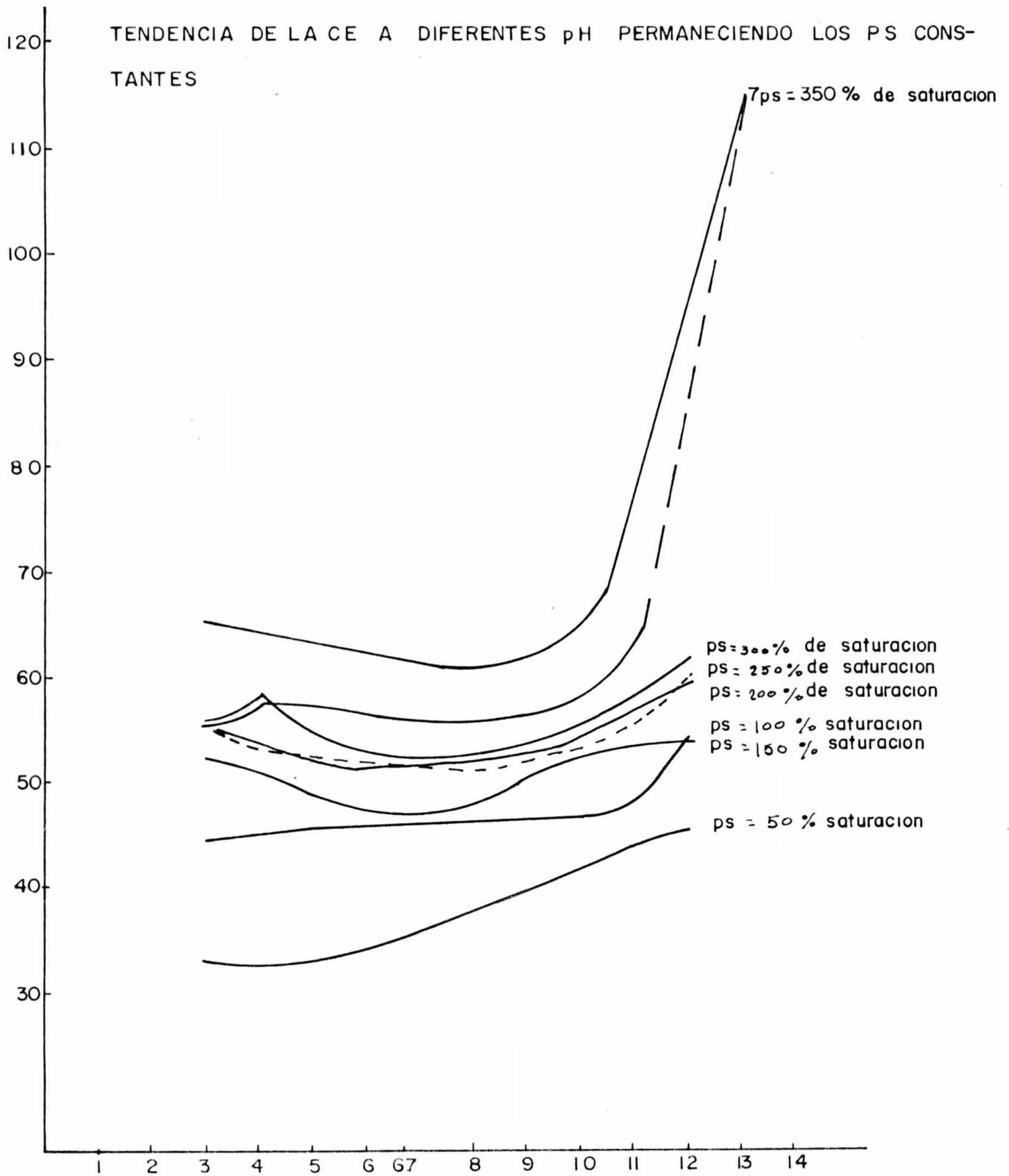




ANEXO 13 - SODIO SOLUBLE -- PS PARA CADA pH



ANEXO 14.- PSI - PS PARA CADA pH



XO. 15.- CE - pH PARA CADA PS