

UNIVERSIDAD DE SONORA

ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA

EFEECTO DEL ACIDO SULFURICO SOBRE LA RECUPERACION
DE UN SUELO CALCAREO AFECTADO POR
SODIO, DEL VALLE DEL YAQUI, SONORA.

T E S I S

J. Martin Diaz Meléndez

ENERO DE 1989

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

"EFECTO DEL ACIDO SULFURICO SOBRE LA RECUPERACION DE UN
SUELO CALCAREO AFECTADO POR SODIO, DEL VALLE DEL YAQUI,
SONORA".

T E S I S

Sometida a consideración de la
Escuela de Agricultura y Ganadería
de la
Universidad de Sonora
por:

J. MARTIN DIAZ MELENDEZ

Como requisito para obtener
el Título de Ingeniero Agrónomo
con Especialidad en Irrigación.

Enero de 1989

Esta tesis fué realizada bajo la dirección del Consejo Particular, aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del Grado de:

INGENIERO AGRONOMO
ESPECIALIDAD EN IRRIGACION

CONSEJO PARTICULAR

ASESOR:-----
M.C. Marco Antonio Huez López

CONSEJERO:-----
Ing. Francisco Javier Gámez Romero

CONSEJERO:-----
Ing. Francisco Antonio Preciado Flores

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

A la Universidad de Sonora, especialmente a la Escuela de Agricultura y Ganadería.

Al M.C. Marco Antonio Huez López, mis más sinceros agradecimientos por la dirección y revisión del presente trabajo, por sus consejos y apoyo moral.

Al Ing. Francisco A. Preciado Flores, por su ayuda desinteresada y apoyo incondicional recibido, bajo la realización de esta tesis.

Al Ing. Francisco Javier Gamez Romero, por el apoyo y revisión de este trabajo.

A la Q.B. Rosa Ana Maytorena Robles, por su apreciable ayuda y amistad en la realización de análisis químicos.

A la Ing. Alba Gloria Olea Moreno, por su ayuda y consejos constantes.

Y a todas aquellas personas que de una manera u otra apoyaron la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres:

Pedro Díaz Martínez y
Ladislada Meléndez López
por darme lo mejor de ellos durante toda mi
vida.

A mis hermanos:

Ma. Socorro, Elvira, Pedro, Ma. Isabel,
Angel y Adela.

A Laura

por su amor y comprensión que ha tenido
siempre.

A mis amigos de Universidad: Angel León Otero, Miguel
A. Valenzuela R., Carlos Lopez Espinoza y demás compañeros
con los que he convivido siempre.

C O N T E N I D O

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. LITERATURA REVISADA	3
2.1. Los Suelos Sódicos	3
2.2. Características Físicas y Químicas de los Suelos Sódicos	5
2.2.1. Características Físicas.....	6
2.2.2. Características Químicas.....	10
2.3. Mejoramiento de los Suelos Sódicos.....	15
2.4. Acido Sulfúrico	18
2.4.1. Acido Sulfúrico Aplicado al Suelo.	20
2.4.2. Acido Sulfúrico Aplicado al Agua de Riego.....	25
2.4.3. Otros Usos del Acido Sulfúrico....	32
III. MATERIALES Y METODOS	36
3.1. Localización	36
3.2. Clima	36
3.3. Temperatura	37
3.4. Precipitación	37
3.5. Localización del Sitio Experimental	38
3.6. Determinaciones Químicas	38
3.6.1. Caracterización Química de los Suelos	39
3.7. Diseño de los Tratamientos	40

	Página
3.7.1. Instalación de las Columnas de Suelo.....	41
3.7.2. Determinaciones Químicas Después de la Aplicación de las Diferentes Soluciones Porcentuales de Acido Sulfúrico	41
IV. RESULTADOS	43
4.1. Efecto de las Soluciones Porcentuales de H ₂ SO ₄ Sobre el pH del Suelo.....	43
4.2. Sales Solubles Después de la Aplicación de las Soluciones Acidas Porcentuales	44
4.3. Efectos sobre las Bases Intercambiables con Respecto a las Soluciones Acidas Porcentuales	45
4.4. Influencia Sobre la Percolación de Agua Debido a la Aplicación de Soluciones Acidas	48
4.5. Carbonatos Alcalino-térreos en el Suelo Después de haber Aplicado las Soluciones Porcentuales Acidas	49
V. CONCLUSIONES	51
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. BIBLIOGRAFIA	53
VIII. APENDICE	58

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Página
1	Composición Mecánica del suelo Original.....	59
2	Contenido de Sales Solubles del Suelo Original Determinado en la Pasta de Saturación en meq/100 g de suelo.....	60
3	Contenido de Sales Solubles, Determinado en el Extracto de Relación Suelo-Agua (1:5), del Suelo Original, en meq/100 g de suelo.....	61
4	Bases Intercambiables del Suelo Original	62
5	Contenido de Sales Solubles, Determinado en el Extracto de Relación Suelo-Agua (1:5), del Tratamiento 0.0% de H ₂ SO ₄ (p/v).....	63
6	Bases Intercambiables del Suelo al 0.0% de H ₂ SO ₄ (p/v).....	64
7	Contenido Promedio de Sales Solubles, Determinado en el Extracto de Relación Suelo-Agua (1:5), después de Aplicar Solución de 0.5% de H ₂ SO ₄ (p/v).....	65
8	Bases Intercambiables del Suelo, después de Aplicar una Solución al 0.5% de H ₂ SO ₄ (p/v)...	66
9	Contenido Promedio de Sales Solubles, Determinado en el Extracto de Relación Suelo:Agua (1:5) después de Aplicar una Solución de 1% de H ₂ SO ₄ (p/v)	67

Cuadro No.		Página
10	Bases Intercambiables Promedio, después de Aplicar una Solución de 1% de H ₂ SO ₄ (p/v).....	68
11	Contenido Promedio de Sales Solubles Deter-- minado en el Extracto de Relación Suelo-Agua (1:5), después de Aplicar una Solución al 3% de H ₂ SO ₄ (p/v).....	69
12	Bases Intercambiables Promedio del Suelo, Después de Aplicar una Solución de 3% de H ₂ SO ₄ (p/v).....	70
13	Comparación de % de los Carbonatos Alcalino- térreos después de las aplicaciones de las Soluciones Acidas Porcentuales.....	71
14	Grado de Percolación del Agua a través de las Columnas del Suelo.....	72

INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Página
1	Cambios en los % de los Carbonatos Alcalino-térreos. En los Distintos Tratamientos de Soluciones ácidas aplicadas.....	73
2	Efectos de las Soluciones Ácidas Porcentuales Sobre el Grado de Percolación.....	74
3	Cambios en las Sales Disueltas Totales, en los Distintos Tratamientos de Soluciones ácidas Aplicadas	75
4	Cambios del Ca Intercambiable, en los distintos Tratamientos de Soluciones Ácidas Aplicadas	76
5	Cambios del Na Intercambiable, en los distintos Tratamientos de Soluciones Ácidas Aplicadas	77

RESUMEN

En la realización de este estudio se aplicó ácido sulfúrico a diferentes concentraciones porcentuales (0.0 0.5, 1.0 y 3.0%), a más de un volumen poroso, sobre un suelo arcilloso calcáreo, con alto porcentaje de sodio intercambiable (>15%), clasificado como salino-sódico, sobre un suelo del Block 614 lote 11, del Valle del Yaqui, Sonora.

El trabajo fué realizado a nivel de laboratorio, mediante columnas de suelo de 10 cm de diámetro y 60 cm de largo. El suelo después de secado, molido y tamizado por una malla de 1 mm, se instaló dentro de las columnas de P.V.C. a un perfil de 45 cm, a una densidad aparente de 1.3 g/cm³. Después de instaladas las columnas de suelo sobre una mesa especial, se suministraron las soluciones ácidas, con una carga hidráulica constante de 10 cm sobre el suelo. Donde cada tratamiento se estableció con 3 repeticiones.

La finalización del experimento, fué cuando alcanzó más de un volumen poroso (0n). Se llevó acabo el registro de la percolacion, donde se recolectaron los volúmenes percolados de los primeros efluentes.

Los efectos de las concentraciones ácidas porcentuales sobre el suelo, fué en base a la reducción del pH, concentración de sales, efectos sobre el desplazamiento del

Na intercambiable, solubilización de los carbonatos alcalino-térreos y grado de percolación.

Los resultados obtenidos fueron: aumento en la concentración de sales en todos los tratamientos de soluciones ácidas; reducción en la Sumatoria de las Bases Intercambiables, debido al rompimiento de la estructura cristalina de los minerales arcillosos, por efecto del ácido sulfúrico sobre ellos. El tratamiento más efectivo fue el de la solución de H_2SO_4 al 3.0%, teniendo una efectividad hasta los 40 cm y con un grado de percolación de 3.55 ml/h. El desplazamiento del Na fue incompleto debido a la gran cantidad de Na_2SO_4 que quedó en solución. No hubo una completa disolución de los carbonatos alcalino-térreos debido a la neutralización del H_2SO_4 , conforme penetró este en la solución.

I. INTRODUCCION

En cualquier región agrícola el mejoramiento, recuperación y utilización de los suelos afectados por sales son de preocupación, y la tarea principal es disminuir o atenuar los factores que reducen la productividad de los cultivos.

La presencia de una gran cantidad de sales solubles en los suelos de las regiones áridas y semiáridas es un factor importante, el cual muchas veces limita la productividad agrícola.

De los suelos ensalitrados, aquellos que contienen cantidades excesivas de sodio intercambiable son quizás los más problemáticos debido a que son afectadas algunas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Este problema se ve acentuado, si además, estos suelos contienen altos contenidos de arcillas.

La penetración de agua en tales suelos es usualmente baja, debido a que el exceso de sodio dispersa las partículas del suelo y/o causa hinchamiento de ciertos tipos de minerales arcillosos.

La recuperación de los suelos sódicos requiere que el agua pase a través del perfil para llevar los iones divalentes agregados (usualmente Ca) y desalojar el Na intercambiable fuera de la zona radicular.

Numerosos metodos para incrementar la penetracion de agua dentro del suelo han sido propuestos. La clase y cantidad de mejorador quimico a ser usado para recuperar los suelos sódicos dependen de las características del suelo, el grado deseado de Na intercambiable a desplazar y el costo.

De acuerdo con López (1984), en el Valle del Yaquí se cuenta con aproximadamente 8000-00-00 Ha que han sido irrigadas con aguas subterráneas clasificadas segun Wilcox como aguas de mediana calidad, ocasionando con el tiempo en los suelos de textura arcillosa un proceso de sodificación, que como consecuencia ha provocado condiciones desfavorables para el desarrollo de los cultivos.

Los objetivos de este trabajo son:

Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes soluciones porcentuales de H₂SO₄ sobre:

- La concentración total de sales.
- Los contenidos de Ca y Mg intercambiables.
- El grado de percolación (volumen/tiempo).

II. LITERATURA REVISADA

2.1. Los suelos sódicos.

De acuerdo con Szabolcs (1979), en el curso del desarrollo de la ciencia del suelo y de su clasificación dos importantes grupos de éstos han sido distinguidos: (a) suelos afectados por sales de sodio neutras (principalmente cloruro de sodio y sulfato de sodio); y (b) suelos afectados por sales de sodio capaces de producir una hidrólisis alcalina (principalmente NaHCO_3 , Na_2CO_3 y Na_2SiO_3).

Los suelos pertenecientes al primer grupo normalmente han sido referidos como salinos y los segundos, como suelos alcalinos. Estos dos grandes tipos difieren no solamente en sus características químicas, sino también en su distribución geográfica y geoquímica, así como en sus propiedades físicas, químicas, físico-químicas, y biológicas. Los métodos usados para su recuperación y utilización agrícola son también diferentes (48).

Hilgard a principios de 1877, citado por Jenny (1961), clasificó la variada composición de los suelos alcalinos, reconociendo las siguientes condiciones:

a). Sales alcalinas neutras, tal como la sal común $[\text{NaCl}]$, sal de Glauber $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$, etc., las cuales son nocivas cuando están presentes en grandes cantidades.

b). Cloruros y sulfatos metálicos, tales como: sal de Epson⁴
[MgSO₄], cloruro de calcio, alumbre [KAl(SO₄)₂], coperrosa
[FeSO₄].

c). Los boratos y carbonatos alcalinos. Estos en la mayoría de sus formas, son nocivos en las más pequeñas cantidades.

Hilgard identificó a los grupos a) y b) como suelos alcalí blancos, o suelos salitrosos; El grupo c) como suelos alcalí negros (16).

El Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (Richards, 1954), ha clasificado a los suelos en base a las sales solubles presentes en la solución, al porcentaje de sodio intercambiable y valor del pH.

En cuanto a los suelos sódicos, estos tienen una conductividad eléctrica del extracto de saturación menor de 4 mmhos/cm a 25°C, un porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15 y un pH mayor de 8.5 (41).

De acuerdo con Ortega T.E. (1978), se han reportado valores de pH por debajo de 7.0, denominándose a estos suelos con el término de suelos "alcalinos degradados". Su extracto de saturación presenta una conductividad menor de 4.0 mmhos/cm y el grado de saturación del sodio intercambiable (PSI) es superior al 15% (35).

Según Tyurin et al (1967), citados por Montaña (1985), el grupo sódico o solonetz son suelos que contienen un

exceso de sodio intercambiable y algunas cantidades de sales solubles (31).

De acuerdo con Szabolcs (1971), los suelos solonetz tienen siempre un horizonte estructural B en sus perfiles. Este horizonte tiene una estructura bien desarrollada, principalmente columnar. Este horizonte determina el tipo genético de estos suelos, sus principales propiedades físicas, químicas, físico-químicas y biológicas, así como su fertilidad junto con las posibilidades de su utilización agrícola.

Una de las características importantes del horizonte B de los solonetz es su alto contenido de sodio intercambiable (47).

2.2. Características físicas y químicas de los suelos sódicos.

Dentro de la génesis de los suelos que contienen sodio intercambiable, según Gedroitz (1912), citado por Montaña (1985), se tienen dos procesos: geoquímico y físico-químico. Los procesos geoquímicos determinan a los procesos físico-químicos. Sin embargo, estos procesos ocurren al mismo tiempo en forma interrelacionada. Originalmente los suelos sódicos alcalinos poseen en sus soluciones sales neutras de sodio, y este solamente manifiesta sus propiedades físico-químicas de los solonetz, cuando existe una determinada relación de cationes

alcalinos y alcalino-térreos (31).

Por otro lado Kovda y Somoilova (1969), consideran que el Na CO_2^3 en comparación con otras sales solubles tienen un efecto mucho más dañino sobre las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos y es extremadamente tóxico para las plantas, su presencia tiene como resultado una baja fertilidad del suelo, su mejoramiento y su utilización agrícola presentan particularmente grandes dificultades (19).

2.2.1 Características físicas.

El grado de deterioración de las condiciones físicas que un suelo sufre en presencia de exceso de Na intercambiable, está en función de la cantidad y tipo de mineral arcilloso en el suelo.

Los minerales arcillosos predominantes que existen en los suelos de zonas áridas tienen una relación silicio-aluminio de 2:1 e incluyen minerales expandibles y no expandibles (15).

La penetración del agua es reducida por las sales de sodio, la cual causa dispersión de las partículas del suelo, y restricción del movimiento del agua y del aire. Las sales de Ca tienen un efecto benéfico, flocculan el suelo permitiendo la entrada de aire y agua (11).

Cuando el ión predominante en la solución del suelo es

sodio, hay una expansión muy pronunciada de las arcillas, al grado tal, que aún los suelos de textura ligera, tales como migajones arenosos, pueden sufrir cambios muy notables en su permeabilidad cuando tienen un porcentaje de sodio intercambiable elevado.

La expansión, ocasiona que las fuerzas de atracción entre los cristales contiguos de la arcilla se disminuya considerablemente, y las fuerzas térmicas hacen que las capas de cristal se comporten independientes unas de otras por lo que el suelo se desflocula, causando todas las características indeseables de los suelos sódicos (2).

K. Norrish (1954), Warkentin et al (1957) citados por Rusell determinan que la causa de la estabilidad o inestabilidad al agua de los grumos de arcilla es la misma que la desfloculación y floculación. Un grumo inestable al agua, se desflocula cuando se agita en agua, porque existen fuerzas de repulsión entre las partículas de arcilla. Esto no solo ocasiona un hinchamiento indefinido de los grumos, sino que estos tambien pierden su resistencia y, por consiguiente su forma (43).

La desfloculación es debido a la fuerte hidratación del ión sodio que dispersa a los colóides del suelo; a esto se le suma el efecto del H_2CO_3 sobre los silicatos hidratados, el cual origina silicatos coloidales, que en conjunto reducen el tamaño y diámetro de los poros, reduciendose la velocidad de infiltración y permeabilidad

del suelo, al aire y al agua (47).

8

Neja et al (1978), mencionan que los problemas de permeabilidad pueden ocurrir en la superficie del suelo o en la parte profunda. Las condiciones sódicas de la superficie disminuyen la penetración del agua al interior del suelo y por lo tanto causa una excesiva saturación de agua en la superficie. Las condiciones sódicas reducen la percolación continua y causa una elevación del nivel freático y ocasionalmente, excesivo acumulamiento de agua en la superficie (32).

De acuerdo con Ortega T.E. (1978), el efecto marcado del sodio en el aumento de esponjamiento y dispersión se puede explicar bajo las bases de que el grado de disociación proveniente de las partículas del suelo es mayor con el sodio que con el calcio. Conforme aumenta la saturación de sodio aumenta la velocidad de migración (35).

La dispersión e hinchamiento de las arcillas dentro de la matriz del suelo son fenómenos interrelacionados, y cualquiera puede reducir la conductividad hidráulica del suelo. El hinchamiento reduce el tamaño de los poros y la dispersión obstruye los poros del suelo. Si las partículas dispersas no se fijan, por lo tanto, su transporte puede dar como resultado en realidad en su aumento de la porosidad y de la conductividad hidráulica. El hinchamiento generalmente no es apreciable al menos que el PSI exceda entre 25 y 30. Pero la dispersión puede ocurrir a niveles

de PSI tan bajos como 10 a 20 si el nivel de electrolitos es <10 meq/l (13).

McNeal y Coleman (1966), citados por James *et al* (1984), definen que la condición física de todos los suelos no es afectada igualmente con los incrementos del PSI. Los suelos que tienen arcillas no expandibles, por ejemplo, la kaolinita u óxidos hidratados, pueden tener grandes valores de PSI sin sufrir efectos dañinos, comparados con los suelos que contienen arcillas montmorilloníticas altamente expandibles (15).

Según Luthin J.N. (1974), la arcilla parcialmente saturada con sodio es muy dispersa, puede ser transportada hacia abajo a través del suelo y ahí en los niveles bajos, donde el suelo puede volverse una capa densa con estructura columnar (23).

Los resultados presentados por Frenkel, Goertzen, y Rhoades (1978), indican que el taponamiento de los poros por las partículas de arcilla dispersadas, son la mayor causa de reducción de la conductividad hidráulica en los suelos montmorilloníticos, vermiculíticos, y kaoliniticos. Los rangos de Na intercambiable y concentración electrolítica, encontrados más comúnmente en suelos irrigados con aguas sódicas de cuestionable calidad son de RAS de 10 a 30, y concentración de sales de 0 a 10 meq/l. Los niveles exactos de Na intercambiable y concentración electrolítica a la cual la conductividad hidráulica es

apreciablemente reducida, varia con la mineralogía, contenido de arcilla, y densidad aparente (13).

La aplicación del amoníaco también incrementa el Na intercambiable y el NH_4 , puede reducir la cantidad de infiltración, especialmente cuando el agua de riego contiene alta cantidad de sodio en relación al Ca y Mg (29).

2.2.2 Características químicas.

La composición de los cationes intercambiables influye considerablemente en muchas de las propiedades de los suelos, y principalmente en la composición de sus agregados. Cuando se tiene una saturación con cationes monovalentes de los metales alcalinos (Li, Na, K) hay un incremento severo en la cantidad de las fracciones más finas -coloidales- ó de tamaño similar. Cuando la saturación es con cationes divalentes la cantidad de partículas finas se vuelve muy baja. Mientras que la de las partículas gruesas aumentan. La saturación con cationes divalentes de los metales alcalino-térreos (Mg, Ca, Ba) da como resultado la formación de agregados. Las partículas separadas del suelo son agrupadas en pequeños terrones gruesos (42).

Los suelos arcillosos son comunmente caracterizados por una alta capacidad de intercambio de bases. Cuando son grandemente saturados con sodio, los suelos alcalinos de

este tipo son probablemente difíciles de recuperar. La ¹¹ cantidad de sodio intercambiable que debe de ser remplazado, es relativamente grande y la permeabilidad es usualmente baja (17).

Los carbonatos alcalino-térreos casi siempre se encuentran como constituyentes de los suelos de zonas áridas. Las cantidades que puedan encontrarse varían desde trazas hasta más del 50% de la masa del suelo y éstos carbonatos tienen una influencia en la textura del suelo cuando están presentes en cantidades considerables, ya que sus partículas tienen tamaños muy semejantes a los del limo. Se ha llegado a pensar que la presencia de partículas muy finas de los metales alcalino-térreos mejora la condición física del suelo pero que también estos carbonatos cuando se presentan en forma de caliche o como agentes cementantes en capas endurecidas pueden impedir el movimiento del agua y el desarrollo de los sistemas radiculares (41).

El grado de infiltración generalmente aumenta con la concentración de sales (CE) de un suelo a un RAS dado. El incremento del RAS generalmente disminuye la permeabilidad del suelo, sobre un RAS crítico, el cual representa una dispersión de algunos agregados del suelo (34).

El lavado de sales es influenciado por la textura del suelo y la calidad del agua. En un experimento realizado

12

por Raj y Nath (1980), en columnas con tres suelos, arcilloso, arenoso, y franco arenoso, reveló que la mayor fracción de sales (90%), fueron lixiviadas del suelo con un volumen poroso de agua (40).

Las propiedades químicas de un suelo sódico se manifiestan con la desalinización del suelo salino, motivo por el cual normalmente presentan valores de conductividad eléctrica menores de 4 mmhos/cm a 25 C. La remoción de sales en el perfil se inicia con los cloruros y nitratos seguidos por los sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. Como los electrólitos son removidos por el lavado, los colóides del suelo se peptizan, y ese grado de peptización depende del tipo de catión y de su cantidad en el complejo de intercambio, que en este caso se satura con sodio. El efecto de los cationes sobre la dispersión (medida de peptización) disminuye en el orden siguiente, de acuerdo a la serie liotrópica:



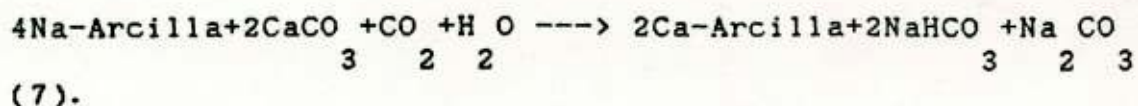
Al lavarse los electrolitos, los efectos del Na_2CO_3 se hacen prominentes y se inician los rasgos distintivos del suelo sódico, como lo es el aumento en la alcalinidad o pH que toma valores mayores de 8.5 y valores de PSI > 15%.

Los aniones más comunes en los suelos sódicos son: cloruros sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. Y con respecto a los cationes solubles, estos suelos poseen pocas cantidades de calcio y magnesio (3).

De acuerdo con James D.W. et al (1982), los suelos sódicos contienen el RAS mayor de 13. Esto indica que existe una gran cantidad de sodio intercambiable, al llevarse a cabo la hidrólisis se forma NaOH. Este al reaccionar con el CO₂ disuelto de la solución del suelo se forma Na₂CO₃. Bajo estas condiciones el pH del suelo puede incrementarse a 10. De acuerdo con estos valores altos de pH, los iones de Ca y Mg son precipitados como carbonatos, por la alta concentración de los iones CO₃ (15).

Miyamoto y Stroehlein (1975), definen como regla general, que la penetración del agua decrece cuando el Total de Sales Disueltas (T.S.D.) expresados comúnmente por CE mmhos/cm o ppm, y el RAS incrementa en suelos de textura fina; la penetración del agua es baja cuando el RAS es mayor poco más o menos de 10 para el mejoramiento de las aguas de riego. Donde las altas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos incrementan el RAS, con ello la precipitación del Ca (28).

Según Bower (1969), a bajos contenidos de sales, los suelos sódicos que contienen CaCO₃ usualmente tienen valores de pH mayores de 8.5. La alcalinidad de tales suelos es debida a la presencia de concentraciones significantes de NaHCO₃, y, si el pH es mayor de 9.5, de Na₂CO₃. Los NaHCO₃ y Na₂CO₃ resultan de la reacción de equilibrio de arcillas sódicas con CaCO₃ en presencia de CO₂ y H₂O :



Kovda et al (1976), definen que existe una "separación espacial" de las zonas de máxima acumulación entre el CaSO_4 y CaCO_3 en el perfil de los suelos.

El anterior "antagonismo espacial" entre las máximas acumulaciones de CaSO_4 y CaCO_3 es atribuido a la diferencia en la solubilidad de estos compuestos lo cual causa que el CaCO_3 se precipite en la solución antes que el $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ conforme aumenta el contenido mineral de las soluciones. Esta es la razón de la separación espacial de las zonas de acumulación de los compuestos dados durante el influjo de las soluciones.

Durante el riego, el contenido mineral del agua de riego que contienen sulfatos y carbonatos de calcio disueltos en concentraciones cercanas a la saturación, aumenta conforme se percolan a través de los horizontes superiores, y primeramente el carbonato de calcio se precipita y después el yeso en la solución. La máxima acumulación de CaCO_3 es confinada a los horizontes superiores, mientras que el yeso su máxima acumulación ocurre en la mitad del perfil (18).

Lindsay W.L. (1979), describe que al presentarse el proceso respiratorio dentro de las raíces de las plantas y otros organismos dentro del suelo producen constantemente

CO (g) disminuyendo el pH y modificando el grado de ² solubilidad de muchos nutrientes (20). 15

2.3 Mejoramiento de los suelos sódicos.

Como se mencionó anteriormente, los problemas asociados con los suelos sódicos son muchos, siendo uno de las principales la pobre estructura del suelo causada por la cantidad en exceso de Na intercambiable. En casos severos la penetración de agua en el suelo, es poca, restringiendo así la producción de cultivos. El alto valor del pH inherente a los suelos calcáreos afectados por sodio reducen la solubilidad y disponibilidad de ciertos nutrientes para las plantas, y en algunos casos inhiben el desarrollo de las raíces. La acumulación de elementos tóxicos tales como B y Li también pueden ser encontrados en tales suelos (30).

La recuperación de los suelos implica un mejoramiento de sus condiciones con respecto a las plantas.

La recuperación por métodos químicos se basa en la adición de sustancias y/o compuestos químicos al suelo llamados mejoradores o correctores, cuyos fines son de proveer Ca en forma soluble a los suelos y neutralizar su pH, reaccionar con el Na CO₂ en solución y reemplazar al sodio adsorbido en las partículas de la fracción coloidal (3).

Los mejoradores utilizados en la recuperación de los suelos, dependen de los tipos genéticos y características químicas, se agrupan en tres categorías: a) sales de Ca soluble como cloruros y yeso; b) componentes de Ca de baja solubilidad como CaCO_3 y c) materiales acidificantes como ácido sulfúrico, azufre y sulfato de Fe. Sumando el efecto del hidrógeno, los mejoradores acidificantes sirven para recuperar los suelos alcalinos neutralizando la soda, y reactivando el CaCO_3 de los suelos calcáreos para producir yeso, el cual suministra el Ca soluble requerido (12).

Prather et al (1978), consideran que los mejoradores deben de ser escogidos considerando factores tales como:

- 1) Propiedades físicas y químicas del suelo a ser recuperado.
- 2) Tiempo disponible para la recuperación,
- 3) Cantidad de agua disponible para el lavado y capacidad de drenaje del suelo,
- 4) Grados de recuperación necesarios,
- 5) Costos de mejoradores, aguas y aplicación (39).

El contenido de carbonatos alcalino-térreos y el pH del suelo sódico que va a ser recuperado, son de mucha importancia para seleccionar el agente químico más apropiado. Por eso se dividen los suelos sodicos en tres clases:

- i). Suelos que contienen carbonatos alcalino-térreos. En estos suelos pueden usarse las sales cálcicas solubles, los

ácidos y formadores de ácido, pero debe descartarse la caliza.

ii). Suelos de pH 7.5 o más, que están libres de carbonato alcalino-térreos. En estos se deben de utilizar sales cálcicas solubles, pues los ácidos o formadores de ácidos tienden a hacerlos más ácidos y si se usan, debe de aplicarse también carbonato calcio.

iii). Suelos de pH 7.0 o menos, libres de carbonatos alcalino-térreos, igual que para el suelo anterior (ii).

(35).

La selección del mejorador puede ser influida por el tiempo requerido para su reacción en el suelo. En general los mejoradores de menor costo son de reacciones más lentas. Si se da la sustitución inmediata del sodio, se necesitará uno de los mejoradores más rápidos, pero más costosos. Debido a su gran solubilidad en el agua el cloruro de calcio es probablemente la fuente de calcio soluble más aprovechable, pero rara vez se utiliza debido a su costo muy elevado. El ácido sulfúrico y los sulfatos de Fe y de Al, que se hidrolizan rápidamente en el suelo para formar ácido sulfúrico son también mejoradores de acción rápida relativamente costosos. El sulfuro de Ca, y el S y otros ácidos son útiles, pero generalmente demasiado costosos. Estos ácidos y los formadores de ácido se deben de usar solo en suelos calcareos, debido a que deben de reaccionar con piedra caliza (CaCO_3) para liberar el Ca soluble, que sustituye el Na adsorbido (43).

Alperovitch y Shainberg (1973) citados por Montañó, mencionan que la solubilidad del yeso en una solución saturada, contiene 0.01 M de Ca, motivo por el cual el proceso de intercambio en el proceso de recuperación de suelos es relativamente lento (31).

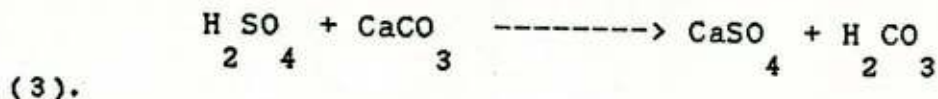
El uso de mejoradores para incrementar la penetración del agua, no es recomendado para "todos" los problemas del suelo. Los mejoradores pueden no corregir las zonas de compactación, causadas por el paso de la maquinaria pesada o labranza inapropiada, y estos no pueden alterar la textura de un suelo arcilloso naturalmente pesado (11).

2.4. Acido sulfúrico.

El valor potencial del ácido sulfúrico para mejorar la productividad de los suelos y agua alcalinas han sido grandemente reconocidos. Sin embargo, su actual uso no ha sido extensivo particularmente debido a los limitados abastecimientos, dificultades en el manejo e inadecuados criterios de aplicación.

Miyamoto et al (1975), enumeran los usos potencialmente benéficos del ácido sulfúrico en la agricultura del Suroeste de los Estados Unidos, entre los cuales están: 1) La recuperación de suelos sódicos; 2) incremento en la disponibilidad de nutrientes; 3) tratamientos de aguas de riego; y 4) otros usos (30).

El ácido sulfurico es un líquido con una pureza aproximada del 93%; es altamente corrosivo, por lo que no se recomienda su uso en aguas de riego, cuando éstas se conducen por tuberías o canales revestidos; reaccionan rápidamente produciendo yeso, en presencia de CaCO_3 .



Manukyan, R.R. (1976) citado por Caraveo L.F. (1984), expone que al reaccionar el ácido con los carbonatos de los metales alcalinos y alcalino-térreos de los suelos sódicos los neutraliza, y como resultado de las reacciones químicas de intercambio, la solución del suelo se enriquece con sales de sodio secundarias, que por el proceso de lixiviación deben de ser eliminados o transportados a estratos inferiores del suelo. Por lo tanto los compuestos de Ca y Mg formados durante las reacciones actúan sobre el suelo desplazando al Na intercambiable del complejo de intercambio catiónico. Es así como el mejorador se manifiesta como un mejorador de acción química muy activa (8).

De acuerdo con Ayer, Menzie y Jacobs, determinan que la utilización del ácido sulfúrico puede ser requerida para suelos con sodio, deficiencias de Fe, y por otras razones (deficiencias de fósforo, microelementos, etc.). Y el ácido puede ser aplicado de varias formas como inyectado

al suelo, sobre el suelo y en el agua de riego (5).

2.4.1 Acido sulfúrico aplicado en el suelo.

El ácido sulfúrico (y otros compuestos de azufre) han sido usados para remover el exceso de sodio de los suelos sódicos (28).

El ácido puede ser distribuido sobre la superficie del suelo y este proceso seguido por lavado. El lavado es esencial, porque efectivamente incrementa la salinidad, hasta que el exceso de sales sean lavadas hacia abajo, fuera del suelo (11).

Petrosian y Tchitchian (1969), indican en sus investigaciones, que cuando penetra el ácido sulfúrico, descomponen los carbonatos de Ca y Mg, de ese modo eleva la formación de sulfato de Ca (afectando positivamente el suelo), así como para los sulfatos de Na y Mg, incrementando la salinidad del suelo.

Las dosis precalculadas de ácido y de agua de lavado, no siempre resultan en un mejoramiento recuperativo uniforme de los suelos diferentes en texturas, y grados de salinidad. Esto es debido a la insuficiente acidificación de terrenos heterogéneos predominantemente arcillosos, impidiendo la remoción de sales durante el lavado (37).

Miyamoto et al (1975), mencionan que el rango de dosis para mejorar moderadamente los suelos afectados por sodio,

es de 2 a 6 ton métricas/ha; y para una recuperación fuerte con 6 a 12 ton métricas/ha. Si el RAS del agua es bajo, los efectos del tratamiento persisten por varios años (30).

Miyamoto y Stroehlein (1975), realizaron pruebas de penetración en laboratorio, con ácido concentrado asperjado sobre los suelos calcáreos y determinaron que el efecto varia, dependiendo del Na intercambiable, los metodos de aplicación y propiedades del agua del suelo. Es evidente que por los resultados, el efecto de ácido se incrementa cuando se eleva el PSI (28).

Yahia, Miyamoto y Stroehlein (1975), determinaron que la velocidad de penetración del agua se incrementó con la elevación de la dosis de aplicación de ácido, pero estas decrecieron con la cantidad óptima, dentro de un rango de aplicación de 5 a 15 ton métricas/ha. El ácido fue especialmente efectivo en aumentar la penetración del agua en los suelos calcáreos afectados por sodio. La aplicación de ácido fue más efectiva que el yeso al ser aplicado a la superficie, incrementando la velocidad de penetración del agua en los suelos afectados por sodio (50).

Miyamoto, Ryan y Stroehlein (1975), mencionan que el ácido asperjado en los suelos saturados con sodio a una dosis de 10 ton métricas/ha, incrementan la dosis de infiltración del agua en los suelos calcáreos en Arizona (30).

O'Connor y Lee (1978), realizaron estudios de laboratorio y de invernadero con tres suelos de New Mexico, donde evaluaron el potencial del H_2SO_4 en incrementar la permeabilidad del suelo, y mejorar la calidad del agua de riego.

Ellos observaron que una aplicación de ácido de 1.23 ton/ha, mostró efectividad en el mejoramiento de la infiltración en los suelos sódicos y este efecto fue más pronunciado a niveles bajos de Sales Totales (34).

Gumma, Prather y Miyamoto (1976), reportaron que la conductividad hidráulica respondió grandemente debido al tratamiento ácido (14).

En un trabajo de campo y laboratorio que realizaron Mihail y Alcorn (1983), determinaron que si bien, el H_2SO_4 al 95% inicialmente retardó la penetración del agua en el campo, el grado de penetración de los subsiguientes riegos fueron elevados (25).

La cantidad de ácido requerido según Doerge y Stroehlein (1986), para una área determinada de suelo puede ser estimada de la siguiente manera:

- a). Suelos con un PSI <5 no se debe de aplicar ácido.
- b). Suelos con un PSI de 10 se aplican de 0.28 a 0.67 ton/ha.
- c). Suelos con un PSI de 20 se aplican de 0.56 a 1.34 ton/ha.

d). Suelos con un PSI de 40 se aplican de 1.68 a 4.03 ton/ha.

Donde la menor dosis se aplica a texturas arenosas, a texturas arcillosas se aplica la máxima dosis (11).

En un estudio realizado por Ryan y Stroehlein (1977), con el H_2SO_4 concentrado (93%), aplicado directamente al suelo y después lavado, provocaron una marcada reducción del pH con valores hasta 6.5, 6.7, y 3.8, con la disminución de un 100% de la BTA (Basicidad Titulable con Acido) (45).

Unos de los resultados obtenidos por Abdul-Sattar (1978), fueron que la cantidad de ácido es efectivo en la reducción del pH del suelo de 7.8 a 7.3, y el PSI de 7 a 5, con un 100% de agua lixiviada (1).

En un experimento realizado por Miyamoto y Stroehlein (1975), en St. David, donde aplicaron ácido concentrado a dosis de 5 y 10 ton/ha (2.25 y 4.5 US ton/acre), asperjados sobre un suelo una vez afectado severamente por Na, previamente regado a 20 cm. La dosis alta de ácido duplicó la cantidad de infiltración en este caso. Una prueba similar en Three Points, la dosis de ácido dió resultados satisfactorios, probablemente porque los suelos son limosos y el PSI fué bajo en el caso de St. David. En Willcox, el ácido concentrado fué aplicado similarmente, pero a más bajas dosis porque el PSI es mas bajo. Las cantidades de infiltración, de nuevo fueron aproximadamente duplicadas

(28).

Ananyan, citado por Manukian (1976), demostró que el yeso es ineficiente en la recuperación de suelos sódicos solonchaks fuertemente alcalinos, en las planicies de Ararat. Esto porque el yeso requiere de mucho tiempo, y abundante cantidad de agua de lavado para su solubilización, y recomienda para el mejoramiento de dichos suelos, el uso de ácido sulfúrico u otras sales de Ca de más fácil solubilidad que el yeso (31).

En dos años de experimentos llevados acabo por Overstreet et al (1951), en un suelo saturado con un 100% de sodio, aplicaron S , $CaSO_4 \cdot H_2O$ y H_2SO_4 al 93% en dosis equivalentes : 4.59, 24.70, 14.08 ton/ha respectivamente.

Los analisis indicaron que particularmente el ácido redujo grandemente el pH y los valores del Na en el suelo. La superioridad del ácido fué confirmada en una segunda serie de experimentos en la cual se aplicaron 7.04 y 3.50 ton/ha, obteniendo resultados muy satisfactorios, y en experimentos de macetas asperjados con una pequeña cantidad concentrada de ácido, de 0.98 ton/ha, se obtuvieron efectos benéficos (36).

A causa de la aplicación del ácido, se generan especialmente sales de Ca, y estas pueden incrementar la cantidad de sal en el agua de drenaje. Una porción de Ca y SO_4 pueden precipitarse como yeso.

La recuperación parcial de un suelo sódico en forma localizada o en franjas, pueden reducir las cantidades de lixiviado de sales parcialmente acumuladas o precipitadas entre las franjas o bandas (30).

2.4.2. Acido sulfúrico aplicado en el agua de riego.

En los suelos irrigados, el balance de Na y Ca más Mg, refleja la composición química del agua de riego utilizada. Si el agua es alta en Na, las partículas del suelo pueden adsorber el Na, dando como resultado problemas en la penetración del agua, particularmente si la cantidad de sales del agua es bajo. El HCO_3 en el agua tiende a combinarse con el Ca y produce CaCO_3 insoluble. En este proceso ceden al Na dentro del agua, para reaccionar con el suelo, causando una dispersión y taponamiento (11).

Estudios llevados acabo por Szabolcs (1964), citado por Nunes F.J. (1984), para conocer el efecto de los bicarbonatos en el agua de riego utilizada continuamente, demostraron que:

- a). La utilización del agua del riego que contenga carbonatos de Na, incrementa la alcalinidad del suelo y desarrolla una rápida adsorción del ión sodio en los colóides del suelo.
- b). El equilibrio de intercambio entre el suelo y el agua, rica en sodio, se establece en muy poco tiempo y depende de las propiedades químicas de ambos, es decir, el suelo y el

agua.

c). El incremento de la alcalinidad de los suelos crea condiciones favorables para la adsorción del ión sodio.

d). Si el agua de riego solo presenta altos contenidos de sodio en determinadas épocas del año, el límite de tolerancia de la concentración de carbonato de sodio en el agua puede ser más alto que si el carbonato de sodio es un componente químico constante en esta.

e). Si existe calcio soluble (yeso) el incremento de la cantidad de carbonato de sodio que se tolera, depende de estos contenidos (33).

Aceves N.E. (1979), recomienda que la aplicación se haga en forma intermitente en láminas de agua pequeñas (10 cm) poniendo un chorro de ácido directamente en la regadera de la parcela, esto asegura una mayor eficiencia de la cantidad aplicada, ya que si se aplica demasiado, puede no quedar bien distribuido en el área, y si se aplica láminas de lavado muy grandes se puede desplazar el ácido a profundidades mayores que las que se desea recuperar, y la eficiencia en el desplazamiento del Na por Ca, en el complejo de intercambio, puede ser muy baja (2).

La aplicación de H_2SO_4 en pequeñas cantidades a las aguas de riego con altos contenidos de Na provocan una disminución en el alto valor del RAS derivado de la prevención de la precipitación del Ca o por la disociación del Ca del $CaCO_3$. Las dosis de aplicación son

ordinariamente menores en cerca del 90% de las cantidades equivalentes contenidas de bicarbonatos, cuando los sistemas son de canales y pipas metálicas (28).

McGeorge, Breazale y About (1956), reportaron unos experimentos de campo cerca de Gilbert, Arizona, donde se hizo una comparación de acondicionadores incluyendo el H₂SO₄ a dosis de 1028 y 2057 litros/ha, polisulfuro de Ca 374 y 935 litros/ha, yeso a la cantidad de 2.47 y 12.35 ton/ha, y el azufre 2.47 ton/ha.

El H₂SO₄ y el polisulfuro de Ca fué aplicado al agua de riego, los demás materiales fueron aplicados y distribuidos al interior del suelo.

La respuesta en el aumento de la infiltración fué definitiva para el ácido, yeso y posteriormente el azufre de acuerdo a los resultados obtenidos.

Este mejoramiento fué demostrado en el cultivo de sorgo, obteniendo mayor número de plántulas emergidas en los tratamientos que el resto de los acondicionadores.

El mayor mejoramiento en la percolación fué con 2057 litros/ha de H₂SO₄ (24).

Gumma, Prather y Miyamoto (1976), evaluaron las beneficios del H₂SO₄ cuando se adicionó al agua de riego en cantidades suficientes para prevenir la precipitación de Ca. También consideraron la dosis de ácido que reduce

el peligro de sodio e incrementa el rango de penetración del agua, como un resultado del mejoramiento de la estructura del suelo (14).

De acuerdo con Lopez (1984), el ácido sulfúrico se aplica al agua de riego, buscando con ello evitar la formación de una capa dura, en la parte superficial del suelo, ocasionada por la liberación de Ca, la cual será mayor al aumentar la dosis aplicada; además, considerando con esto reducir la peligrosidad de su aplicación del ácido, debido a la alta concentración que viene (98%) (21).

Segun Miyamoto et al (1975), mencionan que la cantidad de H_2SO_4 necesaria para el tratamiento de agua de riego es con un rango de 50 a 200 ppm o 0.5 a 2.0 ton métricas/ha-m de agua (30).

El control de la precipitación de la calcita requiere el uso de pequeñas cantidades de H_2SO_4 tales como 14.5 - 72.9 kg/ha-30.4 cm de agua. Se justifica para un gran sistema permanente, en un área con problemas de Na y altos valores de pH.

El peligro de Na caracterizado por el deterioro de la estructura del suelo, altas concentraciones de sales, y problemas de penetración del agua, puede ser reducido por el tratamiento de 145 - 729 kg/ha-30 cm de agua y goteado dentro del agua de riego.

Para reducir la pérdida del amoníaco se requiere de

392 - 617 kg/ha de H_2SO_4 , la aplicación es similar como el sistema para el tratamiento del Na (5).

Abdul-Sattar A.F. (1978), determinó que el ácido sulfúrico como acondicionador reduce el pH del agua hasta aproximadamente 7, y por lo tanto el del suelo. Estos cambios pueden incrementar el producto de solubilidad del $CaCO_3$ y luego incrementar la concentración de Ca. Este nivel más alto de Ca, puede mejorar el suelo, y por ello mejorar el desarrollo de la planta, por la reducción del PSI (1).

Caraveo L.F. (1984), evaluó diferentes concentraciones de H_2SO_4 (1, 3, 5, y 10%), sobre los procesos de mejoramiento de los suelos salino-sódicos. La aplicación de las soluciones originó en todos los casos un aumento de la cantidad de sales solubles de acuerdo a la concentración utilizada.

El desplazamiento de Na intercambiable por el Ca y Mg fué mayor en los estratos superficiales, en un porcentaje más alto, bajo a una concentración de H_2SO_4 al 5%.

La concentración de H_2SO_4 al 10% produjo fuerte acidificación de los primeros 10 cm superficiales, y dispersó el suelo a tal grado que solo logró penetrar una profundidad de 30 - 35 cm.

Las soluciones ácidas al 3 y 5% llevaron el pH del suelo original (> de 9.0) a valores cercanos a la

neutralización a una profundidad de 30 y 35 ³⁰ cm respectivamente.

La conductividad hidráulica mejoró notablemente con la solución de H_2SO_4 al 3%, siguiendo los tratamientos 1 y 5%.
(8).

Ananian A.K. et al (1969), reportan que un suelo salino-sódico puede ser lavado con solución de ácido sulfúrico al 1% a fin de obtener buenos resultados en un periodo relativamente corto.

Varios experimentos indican que para lavar completamente un metro de suelo, es necesario aplicar de 90 - 120 ton de H_2SO_4 /ha y 40 - 50,000 m³ de agua/ha. Con el objeto de remover una ton de sales son, requeridas de 300 - 400 m³ de agua (4).

Petrosian y Tchitchian (1969), determinaron que la concentración de ácido sulfúrico más óptima (económicamente ventajosa), suficiente para neutralizar la reacción alcalina del suelo es de 0.8 - 1.0% en solución, como resultado de numerosos experimentos de campo y laboratorio (37).

Doerge y Stroehlein (1986), indican que la adición de amoníaco y aquamonía al agua de riego, puede incrementar su alcalinidad y después causar precipitación del $CaCO_3$ y consecuentemente causar el deterioro de la calidad del agua de riego. Más pérdidas de amoníaco por volatización, son

tambien más altas en aguas altamente alcalinas.

El H_2SO_4 al ser aplicado al agua, neutraliza los bicarbonatos y/o contrarresta la alcalinidad producida por las adiciones de aquamonía. Puede estimarse la cantidad y flujo de ácido que se requiere, por los resultados de analisis del agua. Como una guia general se aplican 4 partes de H_2SO_4 que son requeridas por 5 partes de HCO_3 y/o aplicar 3 partes de H_2SO_4 por una parte de amoniaco.

La cantidad usada no debe de resultar un exceso de acidez (regular para un pH de 6.5 - 7.0), la cual puede causar corrosión en las lineas de canales de concreto (11).

Si el anhidro o aquamonía es aplicada al agua de riego, el ácido puede ser aplicado simultaneamente sobre las cantidades equivalentes de amoniaco, si no, provoca corrosión del sistema de riego (3 ton de ácido al 95% es equivalente a una ton de NH_3). El ácido aplicado al agua de riego amoniacado no solamente reduce las perdidas de volatización de amoniaco, sino que tambien previene la precipitación de Ca.

Las cantidades de ácido varían dependiendo de la calidad del agua, severidad del problema y las dosis de amoniaco utilizada, pero el rango ordinario es de 100 a 200 ppm o 1.23 a 3.70 ton/ha por ciclo de desarrollo del cultivo (28).

2.4.3. Otros usos del ácido sulfúrico.

Miyamoto et al (1975), enumera otros usos potencialmente benéficos del ácido sulfúrico en la agricultura como: incremento en la disponibilidad de nutrientes, control de malezas y patógenos, escarificación de semillas para romper la dormancia, desecación de cultivos, control algas y malezas acuáticas, costras en el suelo y polvo en los lechos de los lagos secos. También puede utilizarse como fertilizante (30).

Ryan y Stroehlein (1973), realizaron un experimento en invernadero con tomate, donde evaluaron la efectividad del H_2SO_4 sobre la disponibilidad de fósforo de un suelo calcáreo. Los resultados que se obtuvieron muestran que la aplicación de ácido en banda ó aplicación localizada (336 y 673 kg/ha) fué más efectiva que en el agua de riego o mezclado en el suelo (1376 kg/ha) (44).

Abdul-Sattar A.F. (1978), reportó que el ácido incrementó el nitrato en el suelo (1).

Cates et al (1984), evaluaron la efectividad del H_2SO_4 , y efectivamente incrementó la disponibilidad de los nutrientes del suelo, producción de materia seca de cebada, redujo el RAS, y el Na en el tejido de la planta. Aumentó la disponibilidad de Zn, Cu y Mn. Pero incrementó mayormente los niveles de P y de Fe (9).

En otro estudio realizado por Ryan, Miyamoto y Bohn

(1973), llevado a cabo en macetas, se aplicó ácido sulfúrico en dosis de 0.05 a 1.0% del peso total del suelo. Para prevenir la clorosis férrica en chícharo y sorgo. Para ambas especies el más bajo nivel de ácido sulfúrico fue suficiente para prevenir la clorosis (46).

Prather (1977), demostró que el H_2SO_4 aplicado a dosis de 3.22 ton de H_2SO_4 concentrado (96%)/ha seguido por tres volúmenes de lavado, fue casi tan efectivo que cuando se lavó con 16 volúmenes porosos de agua en la reducción de Boro soluble (38).

Wallace y Mueller (1978), realizaron un experimento con macetas en invernadero, para prevenir la clorosis por Fe en un cultivo de soya. La aplicación de ácido se realizó dirigida a una porción de suelo, la cual se comparó con el H_2SO_4 mezclado en el suelo. Se concluyó que la pequeña acidificación dirigida al suelo fue suficiente para prevenir la clorosis del Fe, con dosis de 0.37 grs de H_2SO_4 /semilla (320,000 semillas/ha = 118 kg H_2SO_4 /ha).

En este experimento, el antagonismo del Fe se mantuvo uniforme, aún cuando se elevó la disponibilidad del Mn debido a la acidificación, puede ser de mayor cantidad como el Fe. La acidificación parcial del suelo disminuyó para incrementar la disponibilidad del Mn (49).

Caraveo L.F. (1984), determinó que el efecto de solubilización del fósforo en el suelo, a soluciones de

ácido sulfúrico (1, 3, 5, y 10%), incrementaron la cantidad este elemento sobre todo a los 20 cm del suelo, manifestandose la solución de 1% como la mejor sobre los contenidos de fósforo en el suelo.

La acción solubilizadora de la recuperación ácida sobre los micronutrientes (Fe, Cu, Zn y Mn), se incrementaron en los primeros 20 cm del suelo. El Cu y Fe solubles aumentaron en forma total con la solución del 1% de H_2SO_4 . El Zn se elevó con 1 y 3% de solución ácida. Por otra parte el ión Mn soluble se incrementó en todo el perfil, en función lineal con la concentración ácida (8).

Doerge y Stroehlein (1986) señalaron que reduciendo apreciablemente la alcalinidad del suelo, puede incrementarse la cantidad de P y Fe significativamente. El uso de sub-productos de ácido conteniendo otras impurezas de metal como Zn, Mn y Cu, pueden a su vez mejorar la disponibilidad de éstos micronutrientes (11).

Blakenship y Smith (1967), reportan que la impermeabilidad al agua de las semillas es debido a la vellosidad, siendo particularmente comunes entre las plantas leguminosas. La escarificación se puede hacer por abrasión mecánica y química con ácido sulfúrico u otros solventes orgánicos, para romper el obstáculo de la vellosidad de la semilla.

Ellos evaluaron la dormancia de la semilla trebol

Parry's (*Trifolium parri* Gray.), indicando que es efectivamente interrumpida por inmersión en un 75% de ácido sulfúrico, por periodos de 20 - 30 min. Este tratamiento puede proveer importantes prácticas, para interrumpir la dormancia, cuando se propaguen las especies (6).

Miyamoto y Stroehlein (1975), mencionan que numerosas semillas de malezas, mayormente anuales, pueden ser controladas por ácido, diluidas a concentraciones de 2 a 10% por peso de dosis de aplicación o sea de 25 a 100 kg H₂SO₄ /ha. Plantas tolerantes a la dilución de ácido son varias: trigo, cebada, cebolla y rábano.

También se ha tenido ciertos resultados en el control de la Pudrición Texana (*Phymatotrichum omnivorum* Duggar.). Ya que se previene el efecto del *Helminthosporium turcicum* Pass. en el zacate Bermuda y otros patógenos, con ácido sulfúrico y otros acidificantes (30).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización

El Distrito de Desarrollo Rural No. 148, Río Yaqui, Sonora, se localiza en la parte sur del Estado de Sonora en la planicie costera del Golfo de California, abarca parte de los Municipios de Guaymas con 32,919 ha, Bâcum con 30,820 ha, Cajeme con 105,575 ha, Navojoa con 7,369 ha, Etchojoa con 48,329 ha, dando un total de 225,009 ha.

El Distrito se encuentra comprendido entre los paralelos 27° 00' y 27° 40' y meridianos 109° 45' y 110° 20' a una altitud media de 30 m sobre el nivel del mar, la pendiente de los suelos es de 1.50 m/km, dirigida al sureste hasta llegar al mar. Su fuente de agua principal es la cuenca del Río Yaqui.

3.2. Clima

El clima predominante de acuerdo con la clasificación de Thornthwite es (E,d,B,a) desértico con humedad deficiente en todas las estaciones, temperatura mesotermal uniforme a través de todo el año, concentraciones de temperatura en verano de 32%. Este mismo clima pero aceptando las modificaciones del Ing. Alfonso Contreras se clasifica: (E IP,B1 Ib) muy seco con humedad deficiente en invierno y primavera, semicálido con invierno benigno.

3.3. Temperatura

La temperatura media anual es de 22.8°C registrada en la estación climatológica piloto del C.I.A.N.O., tomada los años 1969-1981, la insolación es abundante durante todo el año, principalmente en los meses de Marzo a Julio (época de sequía). El número de horas sol al mes y al año es elevado con relación a los días nublados. El fenómeno de granizo muy rara vez se presenta por lo que no se toma en consideración. Los vientos dominantes en otoño e invierno son moderados del norte y noroeste, el resto del año del suroeste y oeste. Todos son de poca intensidad, solamente en el período de lluvias suelen ser fuertes antes de efectuarse la precipitación.

3.4. Precipitación

De acuerdo a las lluvias registradas en la estación climatológica representativa durante los últimos 26 años se observa que el período de máxima precipitación está comprendido por los meses de Julio y Agosto, sin embargo se han presentado lluvias intensas en los meses de Septiembre y Octubre.

La precipitación anual durante los años estudiados ha sido muy variable alcanzando un promedio de 261.6 mm. (22).

3.5. Localización del sitio experimental.

Las muestras de suelo fueron obtenidas del Block 614 Lote 11 según la nomenclatura del Distrito de Desarrollo Rural No. 148, del Rio Yaqui, Sonora. Este suelo es clasificado como arcilloso, conteniendo alto contenido de sodio intercambiable y una cantidad mayor 2% de carbonatos alcalino-térreos.

3.6 Determinaciones Químicas

Las determinaciones químicas que fueron realizadas para evaluar el comportamiento de la salinidad, fueron realizadas en los extractos acuosos con una relación agua-suelo 1:5 en cuanto a: pH, conductividad eléctrica (CE) en mmhos/cm a 25 C, sales solubles (Ca, Mg, Na, K, CO_3 , HCO_3 , Cl y SO_4), residuo seco evaporado (Sólidos Solubles Totales), porcentaje de carbonatos alcalino-térreos, de acuerdo con la metodología del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (41).

La composición mecánica de textura, se hizo mediante el método del hidrómetro de Bouyoucus.

Los sulfatos son determinados por el método de turbidimetría con un Spectronic 70.

Sodio y potasio son determinados por flamometría con el espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN-ELMER Modelo 3030.

Las bases intercambiables se obtuvieron por el método de Pfeffer, que consiste en desplazar las bases extraíbles existentes en el suelo con el ión amonio (NH_4^+) proveniente de una solución alcohólica al 70% de NH_4Cl 0.1N. Las bases intercambiables se calcularon restando de las bases extraíbles las bases solubles, expresados en meq/100 g de suelo.

3.6.1. Caracterización química de los suelos.

Los análisis físicos y químicos de los suelos utilizados en este trabajo indicaron ser un suelo arcilloso (Cuadro 1) y una condición alcalina del tipo salino-sódico. Los valores de la CE en mmhos/cm a 25 C de los extractos acuosos obtenidos de la pasta de saturación (Cuadro 2), están por encima del valor crítico de 4 mmhos/cm a 25 C que ha sido establecido por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (Richard, 1954). Especialmente significantes son los valores del Na intercambiable (Cuadro 4), los cuales están en exceso del límite que pueden ser considerados como permisibles (mayor de 15%).

Para efecto de evaluación y comparación con las soluciones porcentuales de H_2SO_4 en el experimento, se utilizó el extracto acuoso relación suelo-agua 1:5 (Cuadros 3).

3.7. Diseño de los tratamientos.

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Salinidad de Suelos de la Escuela de Agricultura y Ganadería, de la Universidad de Sonora, mediante columnas de suelo.

Se probaron cuatro concentraciones : 0.0%, 0.5%, 1.0%, y 3.0%, con tres repeticiones por cada tratamiento. Estos fueron aplicados al suelo como aguas de riego, utilizando para su preparación agua destilada.

El estudio del efecto de ácido sulfúrico con respecto a la concentración, se realizó a más de un volumen poroso (0n). Con la finalidad de observar el comportamiento del suelo con respecto a su recuperación.

Preparación de las columnas de suelo.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire, molidas y tamizadas en una malla de 1 mm de diámetro. Se consideró una densidad aparente de $1.3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ a 45 cm de profundidad.

El suelo fué introducido en columnas cilíndricas de PVC de 60 cm de longitud y 10 cm de diámetro, previamente encerados para evitar el flujo de pared durante el lavado. Tapadas en la parte inferior con un papel filtro y una malla de plástico de 1 mm, para evitar la caída del suelo. El suelo se colocó dentro de las columnas con la misma estratigrafía y compactación, en capas de 10 cm hasta un espesor de 45 cm.

3.7.1. Instalación de las columnas de Suelo.

La instalación está compuesta de las siguientes partes: recipiente almacenador de 20 litros, un depósito acondicionado con un flotador para mantener la carga constante de 10 cm de solución ácida. Los efluentes fueron obtenidos por embudos de plástico y recolectados en matraces Erlenmeyer de 500 ml.

Las columnas fueron colocadas sobre una estructura de madera especialmente diseñada para este fin.

Una vez colocadas se procedió a lavar los suelos con soluciones porcentuales de ácido sulfúrico, con una carga constante de 10 cm durante toda la duración del tratamiento. Se hace énfasis que el experimento requirió de una vigilancia constante hasta obtener la primera gota que determinó haber llegado a saturación ($0n$) de los suelos de las columnas e ir tomando los drenados cada hora.

3.7.2. Determinaciones químicas realizadas después de la aplicación de diferentes soluciones porcentuales de ácido sulfúrico.

Las columnas fueron desmontadas y extraídos los espesores de cada 10 cm después de percolar a más de un volumen poroso ($>0n$), resultando diferentes tiempos de cada uno de los tratamientos. Obteniéndose 5 muestras por cada

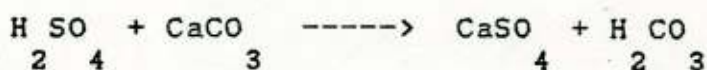
columna de suelo y 60 muestras totales.

Las determinaciones químicas que se hicieron, fueron las mismas que las realizadas en la caracterización química de las muestras del suelo original. También fué observado el tiempo de infiltración.

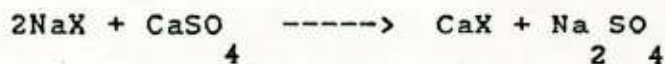
IV. RESULTADOS

Para entender las reacciones fundamentales en un proceso de recuperación, del efecto del ácido aplicado a un suelo con problemas de sodio intercambiable, es altamente esencial obtener los valores consistentes de los componentes químicos de los suelos, después que estos han sido tratados con las diferentes soluciones ácidas.

El ácido sulfúrico abre inmediatamente el suelo al movimiento descendente de la solución, permitiendo que el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) formado de acuerdo a la reacción:



entre en contacto con un volumen mayor de agua, lo que trae como consecuencia una remoción más rápida del Na intercambiable de acuerdo con la siguiente reacción:



donde X, es un sitio de intercambio de la micela coloidal.

Como se observa en las reacciones anteriores, la acción del ácido sobre los carbonatos de Ca (ó Mg), solubilizó ciertas cantidades de Ca y Mg, las cuales al desplazar el Na intercambiable, trae como consecuencia un aumento en la concentración electrolítica de la solución.

4.1. Efecto de las soluciones porcentuales de H_2SO_4

sobre el pH del suelo.

Las soluciones ácidas provocaron un descenso en los valores de pH (Cuadros 3, 5, 7, 9, y 11). Este descenso fué en los 30 cm superiores del perfil, siendo más drástico en el tratamiento del 3.0%. En el tratamiento donde no se aplicó H_2SO_4 , se observa un aumento en el valor del pH de los 20 a los 45 cm de profundidad, reflejado por la presencia de bicarbonatos de Na, y el lavado del Cl y SO_4 de Ca y Mg, y en cuanto al porcentaje de Na en relación al Ca y Mg intercambiable.

4.2. Sales solubles después de la aplicación de las soluciones ácidas porcentuales.

La concentración total de sales en el suelo expresado indirectamente por la conductividad eléctrica, determinada en el extracto acuoso de relación suelo-agua 1:5, aumentó conforme se incrementa la concentración de H_2SO_4 . Como se observa en el Cuadro 5, el tratamiento donde no se aplicó ácido, hubo una disminución en la conductividad eléctrica. Esto es debido a que se presentó una lixiviación de sales solubles, además de que el agua utilizada para el lavado, fué agua destilada.

La reacción del ácido con los carbonatos alcalino-térreos precipitados en el suelo, aumenta con la CE de la solución del suelo, esto es demostrado por Petrosian y Tchitchian (1969), al aplicar cantidades al 0.8 - 1.0% de

ácido en solución, donde este provoca alta concentración de sales en las primeras capas (37). En el tratamiento del H_2SO_4 al 0.5% (Cuadro 7), solo hay un ligero aumento debido a la presencia de $CaSO_4$ en los primeros 10 cm, y Na_2SO_4 en los horizontes inferiores.

Las variaciones en la cantidad de Sales Disueltas Totales (S.D.T.), tomadas como la sumatoria de Ca, Mg, Na, K en meq/100 g de suelo, con respecto a la profundidad, son mostradas en la Figura 3.

La aplicación de soluciones ácidas más concentradas aumenta la concentración de sales solubles en el suelo. En el Cuadro 9, se observa que después de aplicar H_2SO_4 al 1.0%, en los primeros 20 cm un gran aumento en la CE, y en los horizontes profundos un ligero aumento. En el tratamiento de H_2SO_4 al 3.0% (Cuadro 11), se presenta el mayor incremento en la CE en todo el perfil, esto debido a la presencia de sales tales como $CaSO_4$, $MgSO_4$, Na_2SO_4 y $NaHCO_3$.

4.3. Efectos sobre las bases intercambiables con respecto a las soluciones ácidas porcentuales.

Una de las propiedades físico-químicas más importantes que existen en los suelos es retener e intercambiar iones cargados positivamente en las superficies de los colóides.

Los cationes como Ca, Mg, Na, K, NH_4 , Fe y H, son

capaces de pasar de los coloides, estando de manera adsorbida a la solución del suelo, y viceversa. El poder reemplazante de iones polivalentes en relación a iones monovalentes, es mayor a concentraciones bajas de la solución, que a concentraciones altas.

La modificación de las características físico-químicas del perfil del suelo, es reflejado en la Capacidad de Intercambio Catiónico, y se discutirán en base a los cambio que sufrieron el Ca y el Na intercambiable en meq/100 g de suelo en los diferentes tratamientos.

Después de la aplicación de las soluciones ácidas, el Na y el Ca intercambiable juegan un papel preponderante en el suelo, puesto que de ellos depende grandemente su recuperación.

En el tratamiento donde no se aplicó ácido, se presentó una disminución en los meq/100 g de suelo de Ca y Mg intercambiables a partir de los 10 cm de profundidad. Esto es debido a la lixiviación que se tuvo de Ca y Mg soluble, lo que permitió que el Na soluble desplazara al Ca y Mg adsorbidos. Esto puede verse, observando los datos de los Cuadros 5 y 6, comparándolos con los del suelo original.

La aplicación de la solución ácida al 0.5% provocó una disminución de los meq de Na adsorbidos en los primeros 20 cm de profundidad, aumentando en los horizontes inferiores:

También se presenta una disminución del Ca intercambiable en todo el perfil (Cuadro 8).

En los suelos donde se aplicó una solución de H_2SO_4 al 1.0%, se observa como el efecto del ácido tuvo una influencia muy marcada en la disminución de la cantidad de Ca y Mg intercambiables en todo el perfil; Tal influencia se reflejó también en la disminución de la cantidad de Na intercambiable en los primeros 20 cm, aumentando en los horizontes inferiores (Cuadro 10).

La cantidad de Na intercambiable tuvo una reducción efectiva únicamente en el tratamiento de H_2SO_4 al 3.0%. Su efecto alcanzó la profundidad de 40 cm, presentando un aumento en el último horizonte. Como se observa en el Cuadro 12, hay una fuerte disminución del Ca intercambiable en todo el perfil.

Los cambios en profundidad en el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), y el porcentaje de Ca intercambiable (meq/100 g de suelo), de los diferentes tratamientos comparados con los valores del suelo original, son mostrados en las figuras 4 y 5.

Los incrementos en la cantidad de Na Intercambiable en los horizontes inferiores del perfil, también fueron mostrados en un trabajo realizado por Caraveo (1984) (8). Esto mismo sucedió en el trabajo de Miyamoto, Prather y Stroehlein (1975), donde aplicaron 1 y 2 volúmenes porosos

de soluciones ácidas. Sin embargo estos mismos investigadores, aplicaron el ácido directamente al suelo y la disminución del PSI fué más efectiva y a mayor profundidad (27).

4.4. Influencia sobre la percolación de agua debido a la aplicación de soluciones ácidas.

Muchos investigadores han demostrado la efectividad del H_2SO_4 sobre algunas propiedades físicas de los suelos con problemas de Na intercambiable. Overstreet *et al* (1951), obtuvieron resultados satisfactorios sobre el grado de percolación cuando aplicaron H_2SO_4 a un suelo. Miyamoto, Prather y Stroehlein (1975), establecieron que no hay una diferencia con respecto al PSI cuando se aplicaron dos volúmenes porosos de lavado a un suelo, pero sí hay un aumento en las sales disueltas totales lavados (27). Miyamoto (1977), determina que el lavado a poco más de un volumen poroso se obtiene la mayor cantidad de sales lixiviadas (26).

En este trabajo, se aplicó más de un volumen poroso, con la finalidad de observar el comportamiento con respecto al grado de percolación.

El tiempo que tardó cada tratamiento en alcanzar un volumen poroso (2.8 litros), o ser saturado completamente, fueron los siguientes: para el tratamiento sin ácido, tardó en saturarse 418 Horas; el de 0.5%, alcanzó la saturación

a las 54 horas; el tratamiento 1.0% a las 158 horas y el de 3.0% a las 90 horas.

Después de haberse alcanzado el punto de saturación en la columna (0 volumen poroso), se recolectaron los volúmenes percolados para cada tratamiento (cuadro 14), y se determinó el grado de percolación, para los primeros efluentes (aproximadamente 100 ml), ya que los subsiguientes se comportaron en forma similar. Dicho comportamiento puede observarse en la Figura 2.

La disminución en el grado de percolación para el tratamiento de H_2SO_4 al 1.0% puede explicarse debido al efecto que tiene el alto porcentaje de sodio intercambiable que tiene este tratamiento en el horizonte superficial.

4.5. Carbonatos alcalino-térreos en el suelo después de haber aplicado las soluciones porcentuales ácidas.

Como resultado de la aplicación de las soluciones de H_2SO_4 , la solubilización de los carbonatos alcalino-térreos aumentó a medida que se incrementó la concentración de la solución ácida (Cuadro 13 y Figura 1). Con el tratamiento al 3% de ácido, se produjo, en los 0 - 10 cm de suelo, una solubilización total de los carbonatos alcalino-térreos, disminuyendo descendentemente con respecto a la profundidad del suelo. De manera similar pero en menor grado, esto ocurrió en los otros tratamientos. Al 0.0% de

H_2SO_4 se originó una disminución en el perfil fué de manera más o menos homogénea esto debido al efecto de la solubilización y lavado comparado con el suelo original.

El poder de solubilización del H_2SO_4 , disminuyó conforme fue atravesando los sustratos de suelo mayores a 30 cm, debido a la disminución de la neutralización, y por ello el efecto sobre estos carbonatos. Christensen y Lyerly (1954), reportan características parecidas en los perfiles del suelo estudiado por ellos, utilizando aguas acidificadas con una dosis de 1.7 ton H_2SO_4 /ha (pH 6.0) y 7.4 ton H_2SO_4 /ha (pH 2.3), indicaron que el ácido tuvo un efecto hasta 30 cm de profundidad, pero abajo de esta profundidad no disminuyó la solubilización en los carbonatos totales (10).

Ris. T. 1799

V. CONCLUSIONES

1. Hubo un aumento en la concentración total de sales en los tratamientos donde se aplicaron soluciones ácidas, originados por la formación de sales residuales tales como el Na_2SO_4 y CaSO_4 .
2. Se presentó una reducción en la Sumatoria de las Bases Intercambiables en todos los tratamientos, al romperse los eslabones Silicio-Aluminio de la estructura cristalina de los minerales arcillosos, por el efecto que tuvo el ácido sobre ellos.
3. El tratamiento más efectivo fué el de la solución de H_2SO_4 al 3.0%, cuya efectividad alcanzó los 40 cm de profundidad, y tuvo un grado de percolación de 3.53 ml/h.
4. El desplazamiento del Na intercambiable fué incompleto debido a la presencia de gran cantidad de Na_2SO_4 que quedó en solución, lo que trajo como consecuencia que el Na de esta sal, desplazara al Ca y Mg de los sitios de intercambio, y se tuviera una reducción en estos.
5. No hubo una completa disolución de los carbonatos alcalino-térreos (Cuadro 13 y Figura 1), debido al hecho de que el ácido fué neutralizado conforme penetró al suelo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Determinar el contenido de H y Al intercambiable para poder explicar la reducción de la Sumatoria de las Bases Intercambiables.
2. Así mismo, determinar la cantidad de Si soluble que se origina por la destrucción de la micela coloidal por efecto de los tratamientos ácidos.
3. Probar la efectividad de aplicación del H_2SO_4 directamente al suelo, compararlo con el tratamiento más efectivo de este trabajo.
4. Establecer un trabajo similar con la variante de alternar la aplicación de la solución ácida (0 [cero] volumen poroso) y lavado, utilizando en ambos casos, el agua de riego.
5. Estudiar el efecto que tuvo el H_2SO_4 sobre la disponibilidad de micronutrientes, especialmente sobre el Fe, ya que en estos suelos se presenta frecuentemente la clorosis férrica en soya.

BIBLIOGRAFIA

1. Abdul-Sattar, F.A. 1978. The Role of a Saline Water Supply and Sulfuric Acid in Increasing Irrigated Land at Gila Bend, Arizona. Master of Science, Department of Soil, Water and Engineering. University of Arizona.
2. Aceves, N.E. 1979. El Ensalitramiento de los Suelos Bajo Riego. Colegio de Postgraduados, Rama de Riego y Drenaje. Chapingo, México.
3. Aceves, N.L.A. 1981. Los Terrenos Ensalitrados y los Métodos para su Recuperación. Departamento de Suelos, Chapingo, México.
4. Ananian, A.K. et al. 1969. Research on the Design of Vertical Drainage for Sodic Solonchaks of the Ararat Plain. *Agrokémia és Talajtan*, Tom. 18 (Supplementum):139-158.
5. Ayer, H.W., E. Menzie and J. Jacobs.----- Sulfuric Acid in Arizona Agriculture: An Economic Analisis. *Agric. Exp. Stat.*. University of Arizona, Tech. Bull. No. 231.
6. Blankenship, J.O. and D.R. Smith.1967. Breakin Seed Dormancy in Parry's Clover by Acid Treatment. *J. Range Manage.* 20(1):50.
7. Bower, C.A. 1969. Origin, Properties and Amelioration of Sodic Soils. *Agrokémia és Talajtan*, Tom.18 (supplementum):62-79.
8. Caraveo, L.F. 1984. Efectos de la Aplicación de Acido Sulfúrico en Diferentes Concentraciones (1, 3, 5, y 10%) sobre los Procesos de Mejoramiento de un Suelo Salino-Sódico del Predio Montecillos. Tesis del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, Méx.
9. Cates, R.L. et al. 1984. Effects of By-Product Sulfuric Acid on Phyto Availability of Nutrients in Irrigated Calcareous, Saline-Sodic Soils. *J. Environ. Qual.* 13(2):252-256.
10. Christensen, P.D. and P.J. Lyerly. 1954. Yields of Cotton and Other Crops as Affected by Applications of Sulfuric Acid in Irrigation Water. *Soil Sci. Soc. Proc.*:433-436.
11. Doerge, T.A. and J.L. Stroehlein. 1986. Sulfuric Acid for Soil and Water Treatment. *Coop. Ext. Serv.*,

University of Arizona.No. 8622, 3/86.

12. FAO/UNESCO. 1973. Irrigation, Drainage and Salinity. Hutchinson & Co. pp. 430-443.
13. Frenkel, H., J.O. Goertzen and J.D. Rhoades. 1978. Effects of Clay Type and Content Exchangeable Sodium Percentage, and Electrolite Concentration of Clay Dispersion and Soil Hidraulic Conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:32-39.
14. Gumma, G.S., R.J. Prather and Miyamoto. 1976. Effect of Sulfuric Acid on Sodium-Hazard of Irrigation Water. Plant and Soil, 44:715-721.
15. James, D.W., R. Janks and J.J. Jurinak. 1982. Modern Irrigated Soil. W. Wiley & Sons. Inc., USA.
16. Jenny, H, 1961. E.W. Hilgard and The Birth of Modern Soil Science. 3 Collana Della Rivista "AGROCHIMICA", Pisa, Printed in Italy, pp. 43-44.
17. Kelley, W.P. 1951. Alkali Soils: Their Formation, Properties. Reinhold Publishing., New York, USA.
18. Kovda, V.A. et al. 1976. Calcium Sulfate and Carbonate Accumulation in the Profile of Irrigated Sandy Gypsum-Bearing Meadow Soils. Soviet Soil Sci. 6:342-344.
19. Kovda, V.A. and E.M. Somoilova. 1969. Some Problems of Soda Salinity. Agrokémia és Talajtan. Tom. 18 (Supplementum):21-36.
20. Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. W. Wiley & Sons. Inc. USA. pp. 75-78.
21. López, H.J. 1984. Uso de Mejoradores Químicos en Suelos con Problemas de Sodio Intercambiable. Boletín de Información Técnica del Comité Directivo del Yaqui, Distrito de Desarrollo Rural No. 148 de Sonora. S.A.R.H. Año 3, No.2.
22. López, H.J. 1985. Tolerancia del Cultivo de Trigo bajo Diferentes Condiciones de Salinidad. Tesis de Licenciatura, Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, México. pp. 13-16.
23. Luthin, J.N. 1974. Drenaje de Tierras Agrícolas (Traducción: Alfonso Blackaller V.) Primera Reimpresión, LIMUSA, Méx. pp 260-270.
24. McGeorge, W.T., E.L. Breazeale and J.L. Abbot. 1956.

Polysulfides as Soil Conditioners. Agric. Exp. Stat. Univ. of Arizona, Tech. Bull. No. 131.

25. Mihail, J.D. and S.M. Alcorn. 1983. The Effect of a Penetrating Agents and pH Modification on the Permeability of a Loam Soil to Water. Comm. In. Soil Sci. Plant Anal. 14(2):143-151.
26. Miyamoto, S. 1977. Predicting Effects of Sulfuric Acid on Qualities of Irrigation and Drainage Waters in Calcareous Soils. J. Environ. Qual. 6(1):12-17.
27. Miyamoto, S., R.J. Prather and J.L. Stroehlein. 1975. Sulfuric Acid and Leaching Requirements for Reclaiming Sodium-Affected Calcareous Soils. Plant and Soil, 43:573-578.
28. Miyamoto, S. and J.L. Stroehlein. 1975. For Improving Water Penetrating into some Arizona Soils --Sulfuric Acid--. Prog. Agric. in Arizona. 27(2):13-16.
29. Miyamoto, S. and J. Ryan. 1976. Sulfuric Acid for the Treatment of Ammoniated Irrigation Water. II. Reducing Calcium Precipitation on Sodium Hazard. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:305-309.
30. Miyamoto, S., J. Ryan and J.L. Stroehlein. 1975. Potentially Beneficial Uses of Sulfuric Acid In Southwestern Agriculture. J. Environ. Qual. 4(4):431-436.
31. Montaña, G.S. 1985. Estudio de Tres Yesos Agrícolas y el Yeso Puro Bajo Dos Formas de Aplicación (Incorporado al Suelo y Soluble al Agua), en el Mejoramiento de la Capa Arable de un Suelo Sódico. Agrociencia, No. 59:169-186.
32. Neja, A.R. et al. 1978. Salinity Appraisal of Soil Water for Successful Production Grapes. Division of Agriculture Science. University of California, Leaflet No. 21056.
33. Nunes, F.J. 1984. El Mejoramiento de los Suelos Sódicos y Aguas Bicarbonatadas, Utilizando Yeso Agrícola en Diferentes Láminas de Aplicación. Tesis de Maestría, Centro de Hidrociencias, Chapingo, pp. 25.
34. O'Connor, G.A. and V. Lee. 1978. Effect of Sulfuric Acid on Soil Permeability in Irrigation Water Quality. Agric. Exp. Stat. NMSU, Resp. Rep. No.361.

35. Ortega, T.E. 1978. Química de los Suelos. Dpto. de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo. pp.93-100.
36. Overstreet, R., J.C. Martin and H.M. King. 1951. Gypsum, Sulfur and Sulfuric Acid for Reclaiming and Alkali Soils of the Fresno Series. *Hilgardia* 21(5):113-127.
37. Petrosian, G.P. and A.L. Tchitchian. 1969. Soda-Saline Soils of the Ararat Plain and Methods for their Reclamations. *Agrokémia és Talajtan*, Tom.18 (supplementum): 121-138.
38. Prather, R.J. 1977. Sulfuric Acid as an Amendment for Reclaiming Soil High in Boron. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:1091-1101.
39. Prather, R.J. et al. 1978. Efficient Amendment Use in Sodic Soil Reclamation. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 42:782-786.
40. Raj, M. and J. Nath. 1980. Leaching of as Modified by Soil Texture and Quality of Leaching Water. *Trans. Isdt. & Ucds.* 5:54-59. Abstract tomado de: Pahwa K.N. and M.A. Gupta. 1982. *Word Literature on Reclamations & Management of Salt Affected Soils (1950-1981)*. Asocieted Publishing Co. New Delhy.
41. Richard, L.A. (ed.). 1974. *Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos*. Personal de Laboratorio de Salinidad de los E. U.. LIMUSA, Mex.
42. Rode, A.A. 1955. *Soil Science (Pochvovedenie Traslated from Russiam)*, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1962.
43. Russell, J.E. y E.W. Russell. 1968. *Condiciones del Suelo y Crecimiento de las Plantas*. Aguilar, España.
44. Ryan, J. and J.L. Strohelein. 1973. Use Sulfuric Acid on Phosphorus Deficient Arizona Soils. *Prog. Agric. in Arizona*, 25(6):11-13.
45. Ryan, J. and J.L. Stroehlein. 1979. Sulfuric Acid Treatment Calcareous Soils: Effects on Phosphorus Solubility Inorganic Phosphorus form, and Plant Growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:731-735.
46. Ryan, J., S. Miyamoto and H. Bohn. 1973. Prevent

Chlorosis in Plants with Use of Sulfuric Acid.
Prog. Agric. in Arizona, 25(2):3-5.

47. Szabolcs, I. 1971. European Solonetz Soils and their Reclamation. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 11.
48. Szabolcs, I. 1979. Review of Research on Salt-Affected Soils. UNESCO, pp 11.
49. Wallace, A. and R.T. Mueller. 1978. Complete Neutralization of a Portion of Calcareous Soils as a Means of Preventing Iron Chlorosis. Agronomy Journal, 70:888-890.
50. Yahia, T.A., S. Miyamoto and J.L. Stroehlein. 1975. Effect of Surface Applied Sulfuric Acid on Water Penetration into Dry Calcareous and Sodic Soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 39:1201-1209.

A P E N D I C E

CUADRO 1. COMPOSICION MECANICA DEL SUELO ORIGINAL.

Profundidad (cm)	P o r c e n t a j e s			Clase Textural	% Saturación
	Arena	Limo	Arcilla		
0 - 10	35.9	18.4	45.6	Arcilloso	56.1
10 - 20	36.9	12.4	50.6	Arcilloso	49.5
20 - 30	33.9	17.4	48.6	Arcilloso	54.2
30 - 40	39.9	6.0	54.0	Arcilloso	57.7
40 - 50	33.5	15.4	51.0	Arcilloso	64.4

CUADRO 2. CONTENIDO DE SALES SOLUBLES DEL SUELO ORIGINAL, DETERMINADO EN LA PASTA DE SATURACION, meq/100 grs. de Suelo.

Profundidad cm	pH	CE mhos/cm	IONES SOLUBLES en meq/100 g de suelo										Total Aniones
			Ca	Mg	Na	K	Total	CO ³	HCO ³	Cl	SO ⁴		
0 - 10	7.80	5.89	0.336	0.196	3.530	0.032	4.094	0.00	0.448	2.296	0.217	2.961	
10 - 20	7.75	4.24	0.322	0.148	2.106	0.025	2.601	0.00	0.433	1.362	0.108	1.903	
20 - 30	7.75	4.22	0.271	0.135	2.286	0.035	2.727	0.00	0.311	1.449	1.144	1.904	
30 - 40	7.75	4.44	0.250	0.173	2.615	0.020	3.038	0.00	0.403	1.731	0.205	2.339	
40 - 50	7.70	6.44	0.322	0.225	4.473	0.021	5.040	0.00	0.418	3.413	0.901	4.732	

CUADRO 3. CONTENIDO DE SALES SOLUBLES, DETERMINADO EN EL EXTRACTO DE RELACION SUELO:AGUA (1:5), DEL SUELO ORIGINAL en meq/100 g de suelo.

Profundidad cm	pH	CE mehos/ca	IONES SOLUBLES en meq/100 g de suelo										Total Aniones	S.S.T. I(p/p)
			Ca	Mg	Na	K	Total	CO ³	HCO ³	Cl	SO ⁴			
0 - 10	7.70	0.839	0.125	0.200	5.065	0.102	5.492	0.000	1.525	1.525	1.024	3.749	0.212	
10 - 20	7.70	0.733	0.175	0.100	4.239	0.102	4.616	0.000	1.250	1.250	1.053	3.553	0.175	
20 - 30	7.55	0.711	0.150	0.075	4.196	0.095	4.516	0.000	1.025	1.275	1.012	3.312	0.150	
30 - 40	7.60	0.722	0.100	0.075	4.347	0.089	4.611	0.000	1.025	1.350	1.012	3.387	0.142	
40 - 50	7.65	1.011	0.250	0.075	5.586	0.095	6.006	0.000	1.200	2.300	2.020	5.520	0.325	

CUADRO 4. BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO ORIGINAL

BASES INTERCAMBIABLES									
Profundidad	meq/100 g de suelo					Porcentaje			
	Ca	Mg	Na	K	Total	Ca	Mg	Na	K
0 - 10	19.27	5.80	7.54	0.87	33.48	57.57	17.32	22.52	2.59
10 - 20	18.32	5.30	7.50	0.79	31.91	57.42	16.61	23.49	2.48
20 - 30	14.45	3.42	7.10	0.59	25.57	56.50	13.39	27.78	2.33
30 - 40	18.60	5.83	9.56	0.73	34.72	53.58	16.78	27.55	2.10
40 - 50	16.95	5.58	10.19	0.52	33.24	51.00	16.77	30.67	1.56

CUADRO 5. CONTENIDO DE SALES SOLUBLES, DETERMINADO EN EL EXTRACTO DE RELACION SUELO:AGUA (1:5), DEL TRATAMIENTO 0.0 % DE

H 50 (p/v).

2 4

Profundidad cm	pH	CE mehos/cm	I O N E S S O L U B L E S meq/100 g de Suelo										Total	S.S.T.
			Ca	Mg	Na	K	Total	CO ³	HCO ³	Cl	SO ⁴	Aniones		
0 - 10	7.60	0.34	0.04	0.07	2.36	0.06	2.53	0.00	1.47	0.27	0.63	2.36	0.12	
10 - 20	7.62	0.39	0.03	0.03	2.68	0.06	2.81	0.00	1.63	0.27	0.63	2.53	0.17	
20 - 30	7.80	0.38	0.03	0.07	2.68	0.07	2.85	0.00	1.50	0.27	0.68	2.44	0.12	
30 - 40	7.92	0.46	0.04	0.06	2.91	0.05	3.06	0.00	1.67	0.27	0.77	2.70	0.15	
40 - 45	7.93	0.67	0.02	0.09	3.91	0.06	4.08	0.00	1.83	0.47	0.81	3.11	0.21	

CUADRO 6. BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO AL 0.0 % DE H₂SO₄ (p/v).
2 4

BASES INTERCAMBIABLES									
Profundidad	meq/100 g de suelo					Porcentaje			
	Ca	Mg	Na	K	Total	Ca	Mg	Na	K
0 - 10	9.56	2.99	6.59	0.64	19.79	48.30	15.13	33.32	3.25
10 - 20	9.43	2.63	8.77	0.76	21.59	43.68	12.19	40.62	3.50
20 - 30	9.17	2.86	10.59	0.77	23.40	39.19	12.23	45.27	3.30
30 - 40	9.03	2.87	13.18	0.61	25.69	35.15	11.18	51.30	2.37
40 - 45	8.91	3.37	13.93	0.60	26.81	33.23	12.58	51.96	2.23

CUADRO 7. CONTENIDO PROMEDIO DE SALES SOLUBLES, DETERMINADO EN EL EXTRACTO DE RELACION SUELO:AGUA (1:5), DESPUES DE APLICAR UNA SOLUCION DE 0.5% DE H₂SO₄ (p/v).

2 4

Profundidad cm	pH	CE milhos/cm	Ca	Mg	Na	K	I O N E S S O L U B L E S eq/100 g de Suelo				Total Aniones	S.S.T. %(p/p)	
							Total Cationes	CO ³	HCO ³	Cl			SO ⁴
0 - 10	7.05	1.31	3.87	2.21	1.54	0.21	7.83	0.00	0.43	0.33	6.91	7.67	0.56
10 - 20	7.27	0.80	0.45	0.35	3.38	0.09	4.27	0.00	0.57	0.27	3.90	4.73	0.23
20 - 30	7.53	0.77	0.16	0.12	4.12	0.08	4.47	0.00	0.97	0.30	3.12	4.39	0.22
30 - 40	7.55	0.82	0.07	0.10	4.58	0.09	4.84	0.00	1.10	0.30	3.31	4.71	0.23
40 - 45	7.50	0.97	0.06	0.09	5.24	0.06	5.45	0.00	1.17	0.33	4.11	5.61	0.28

CUADRO 8. BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO, DESPUES DE APLICAR UNA SOLUCION AL 0.5% DE
 H₂SO₄ (p/v).
 2 4

Profundidad cm	BASES INTERCAMBIABLES								
	meq/100 g de suelo					Porcentaje			
	Ca	Mg	Na	K	Total	Ca	Mg	Na	K
0 - 10	8.08	4.18	3.30	0.67	16.23	49.79	25.77	20.33	4.11
10 - 20	11.02	3.12	5.72	0.85	20.70	53.22	15.06	27.64	4.09
20 - 30	9.44	3.21	10.36	0.77	23.78	39.70	13.51	43.57	3.22
30 - 40	9.27	2.57	12.94	0.58	25.35	36.56	10.13	51.04	2.27
40 - 45	8.61	2.44	14.27	0.67	25.99	33.13	9.39	54.90	2.58

CUADRO 9. CONTENIDO PROMEDIO DE SALES SOLUBLES, DETERMINADO EN EL EXTRACTO DE RELACION SUELO:AGUA (1:5), DESPUES DE APLICAR UNA SOLUCION DE 1X DE H₂SO₄ (p/v).

2 4

Profundidad cm	pH	CE mhos/cm	IONES SOLUBLES meq/100 g de Suelo										Total	S.S.T. Aniones X(p/p)
			Ca	Mg	Na	K	Total	CO ³	HCO ³	Cl	SO ⁴			
0 - 10	4.47	3.19	0.13	12.10	1.03	0.25	13.51	0.00	0.23	0.40	17.67	18.30	1.89	
10 - 20	7.07	1.38	1.20	1.23	2.78	0.14	5.36	0.00	0.63	0.30	5.68	6.61	0.50	
20 - 30	7.42	0.91	0.20	0.10	4.46	0.09	4.85	0.00	0.97	0.23	3.78	4.98	0.38	
30 - 40	7.57	0.99	0.12	0.10	5.05	0.06	5.33	0.00	1.17	0.33	4.29	5.79	0.41	
40 - 45	7.65	1.07	0.12	0.07	5.37	0.08	5.63	0.00	1.17	0.27	5.00	6.43	0.51	

CUADRO 10. BASES INTERCAMBIABLES PROMEDIO DEL SUELO, DESPUES DE APLICAR UNA SOLUCION DE 1% DE H₂SO₄ (p/v).
2 4

Profundidad cm	BASES INTERCAMBIABLES								
	meq/100 g de suelo					Porcentaje			
	Ca	Mg	Na	K	Total	Ca	Mg	Na	K
0 - 10	0.00	1.10	3.36	0.72	5.18	00.00	21.23	64.93	13.84
10 - 20	9.20	2.70	5.12	0.74	17.76	51.81	15.20	28.81	4.18
20 - 30	8.73	2.78	8.97	0.75	21.24	41.11	13.10	42.25	3.54
30 - 40	7.08	3.85	12.19	0.66	23.79	29.78	16.18	51.25	2.79
40 - 45	7.88	2.30	13.08	0.54	23.81	33.11	9.66	54.95	2.27

CUADRO 11. CONTENIDO PROMEDIO DE SALES SOLUBLES DETERMINADO EN EL EXTRACTO DE RELACION SUELO:AGUA (1:5), DESPUES DE APLICAR

UNA SOLUCION AL 3% DE H₂SO₄ (p/v).
2 4

Profundidad cm	pH	CE mhos/cm	IONES SOLUBLES mg/100 g de Suelo										Total	S.S.T.	
			Ca	Mg	Na	K	Total	CO ³	HCO ³	Cl	SO ⁴	Aniones			Σ(p/p)
0 - 10	1.80	7.12	4.73	8.53	1.08	0.77	15.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.08	15.08	4.63
10 - 20	3.72	3.85	5.48	8.00	1.71	0.62	15.81	0.00	0.12	0.37	15.93	16.42	16.42	16.42	2.43
20 - 30	7.33	2.68	3.20	2.97	6.57	0.24	12.97	0.00	0.87	0.13	16.91	17.91	17.91	17.91	1.31
30 - 40	7.68	1.52	0.37	0.33	6.81	0.11	7.62	0.00	1.00	0.10	6.17	7.27	7.27	7.27	0.70
40 - 45	7.67	1.78	0.47	0.38	7.68	0.07	8.60	0.00	0.90	0.17	7.70	8.77	8.77	8.77	0.78

CUADRO 12. BASES INTERCAMBIABLES PROMEDIO DEL SUELO, DESPUES DE APLICAR UNA SOLUCION
DE 3% DE H₂SO₄ (p/v).
2 4

Profundidad cm	BASES INTERCAMBIABLES								
	meq/100 g de suelo					Porcentaje			
	Ca	Mg	Na	K	Total	Ca	Mg	Na	K
0 - 10	0.00	0.13	2.82	0.00	2.96	0.00	4.51	95.49	0.00
10 - 20	0.00	1.40	2.61	0.25	4.26	0.00	32.88	61.26	6.86
20 - 30	2.23	5.17	5.39	0.59	13.38	16.69	38.61	40.30	4.40
30 - 40	6.97	3.00	9.61	0.37	19.95	34.92	15.04	48.18	1.86
40 - 45	7.88	2.30	13.08	0.54	23.81	33.11	9.56	54.95	2.27

CUADRO 13. COMPARACION DE % DE LOS CARBONATOS ALCALINO-TERREOS DESPUES DE LAS APLICACIONES DE LAS SOLUCIONES ACIDAS PORCENTUALES.

Profundidad cm	% ALCALINO - TERREOS				
	Original	0.0%	0.5%	1.0%	3.0%
0 - 10	9.03	4.44	3.27	1.78	0.00
10 - 20	9.08	4.68	4.74	4.64	0.53
20 - 30	8.87	4.85	4.51	4.79	3.87
30 - 40	8.91	4.77	4.49	4.60	4.42
40 - 45	8.86	4.54	4.47	4.35	4.52

CUADRO 14. GRADO DE PERCOLACION DEL AGUA A TRAVES DE LAS COLUMNAS DE SUELO.

Tratamiento Acido	Periodo de Lavado Horas	Volumen Percolado (Promedio) ml	Grado de Percolacion ml/h
H ₂ SO ₄ al 0.0%	105	134.33	1.47
H ₂ SO ₄ al 0.5%	24	76.75	3.19
H ₂ SO ₄ al 1.0%	24	59.76	2.49
H ₂ SO ₄ al 3.0%	33	116.78	3.53

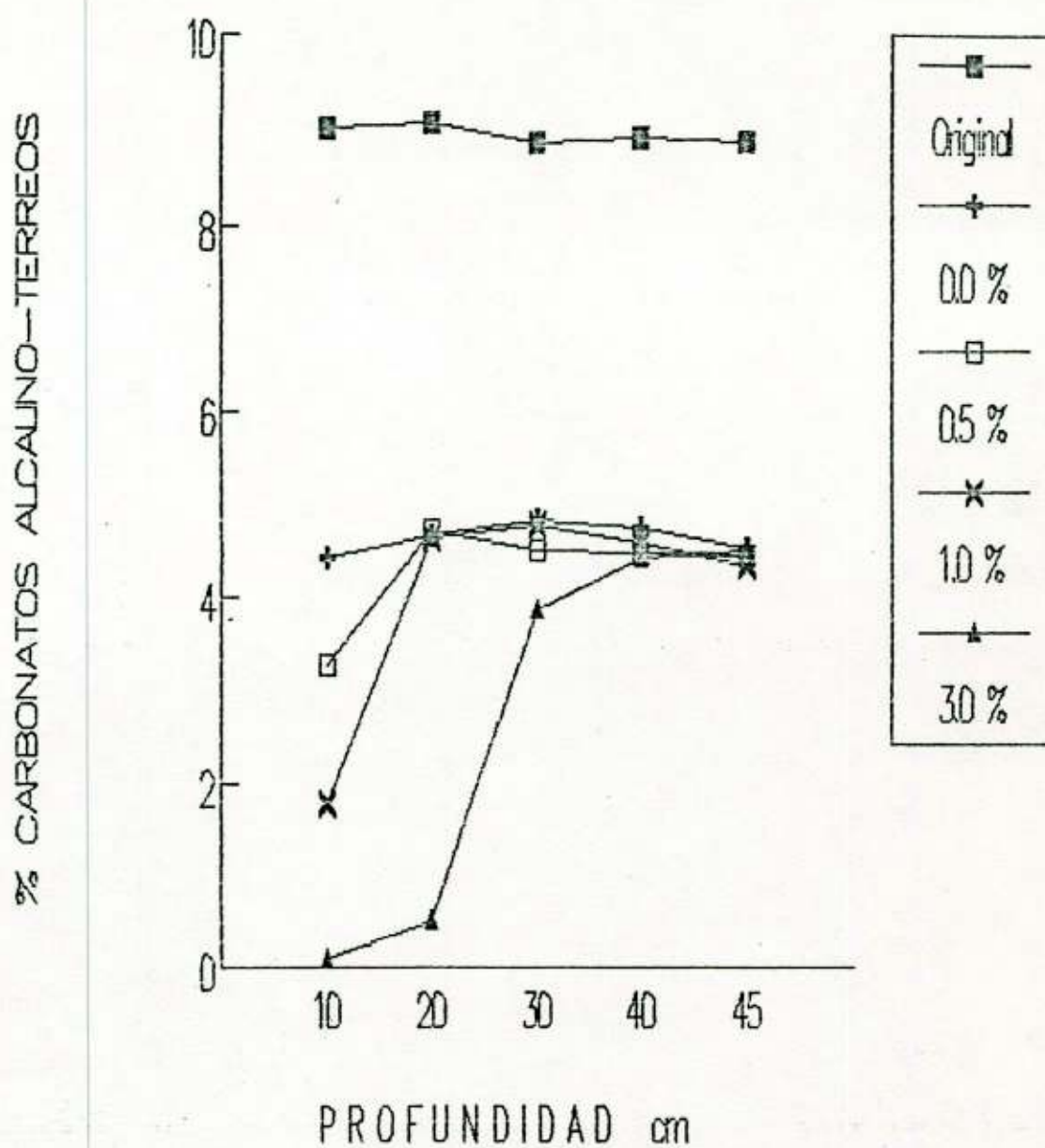


FIGURA 1. Cambios en los porcentajes de los carbonatos alcalino-térreos, en los distintos tratamientos de soluciones ácidas aplicadas.

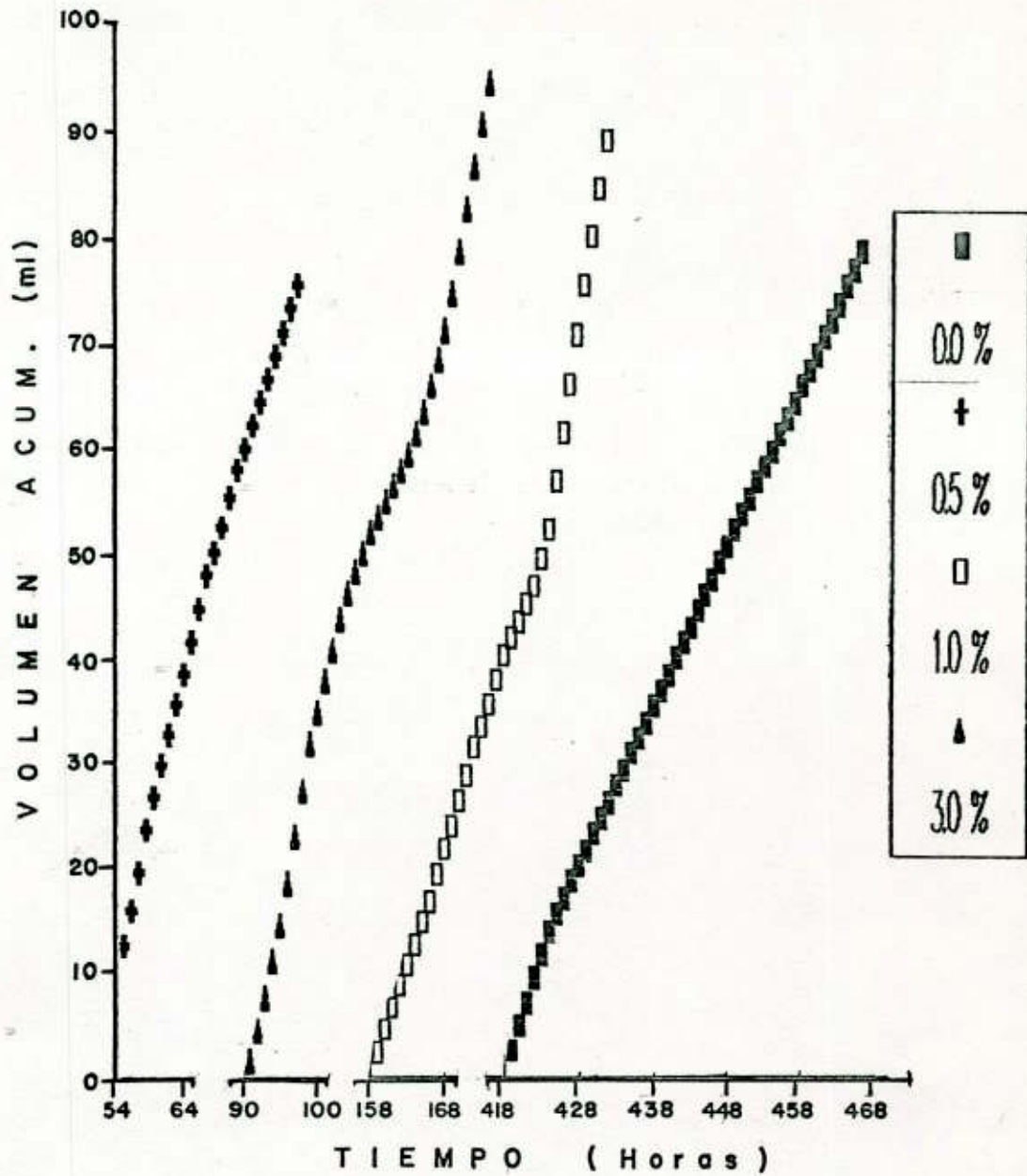


FIGURA 2. Efectos de las soluciones ácidas porcentuales sobre el grado de percolación.

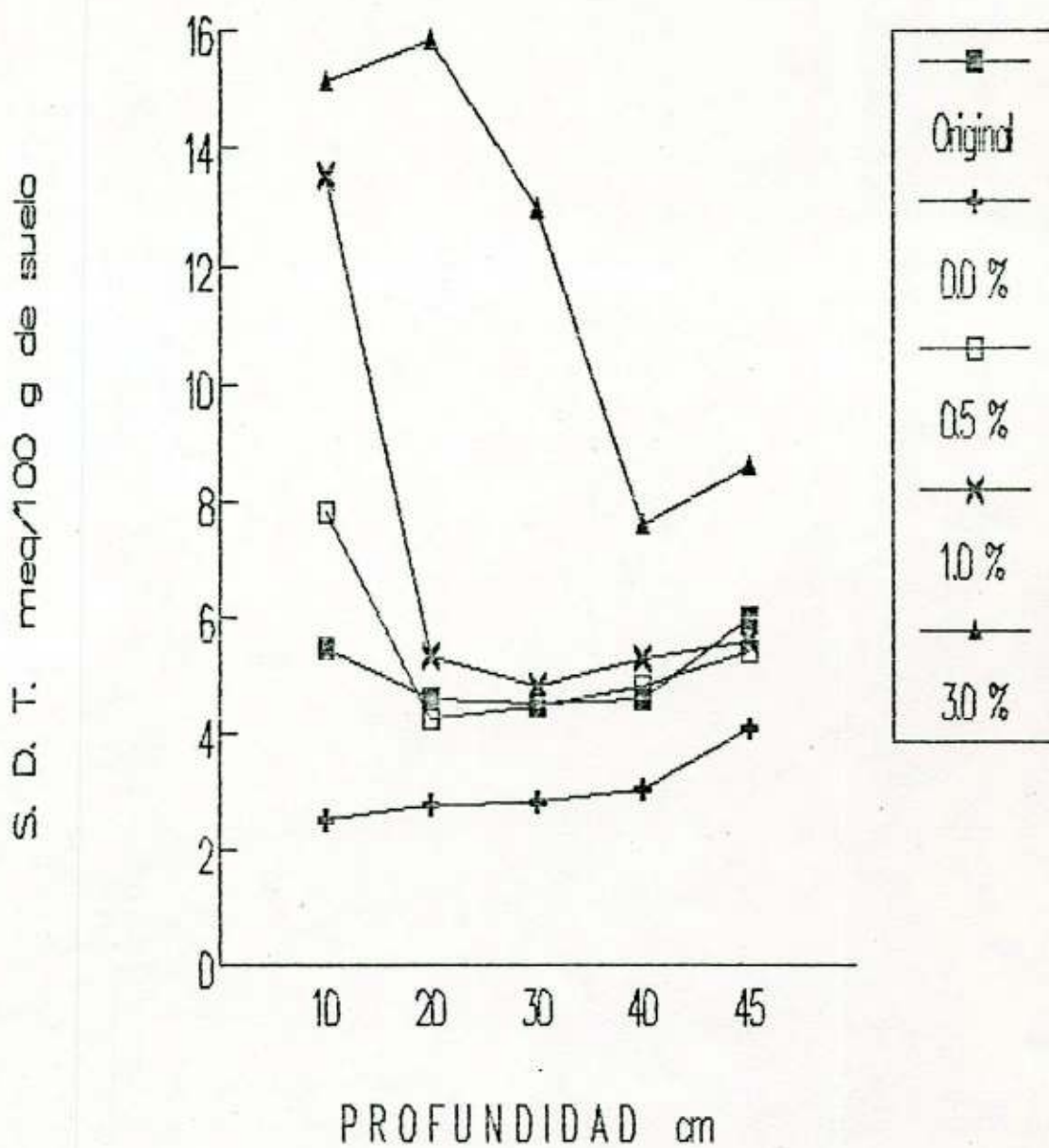


FIGURA 3. Cambios en las Sales Disueltas Totales (S.D.T.), en los distintos tratamientos de soluciones ácidas aplicadas.

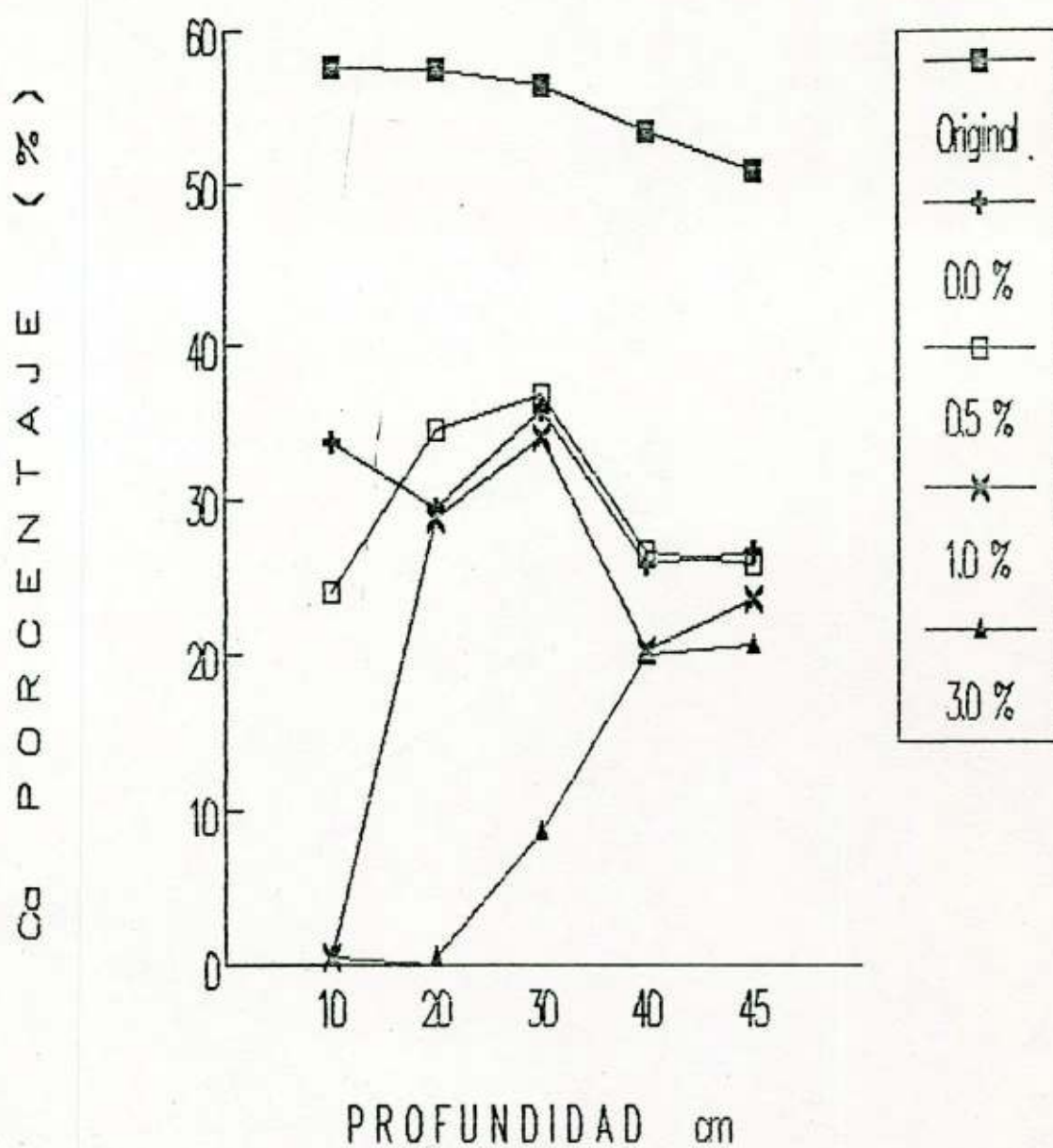


FIGURA 4. Cambios del Ca intercambiable, en los distintos tratamientos de soluciones ácidas aplicadas.

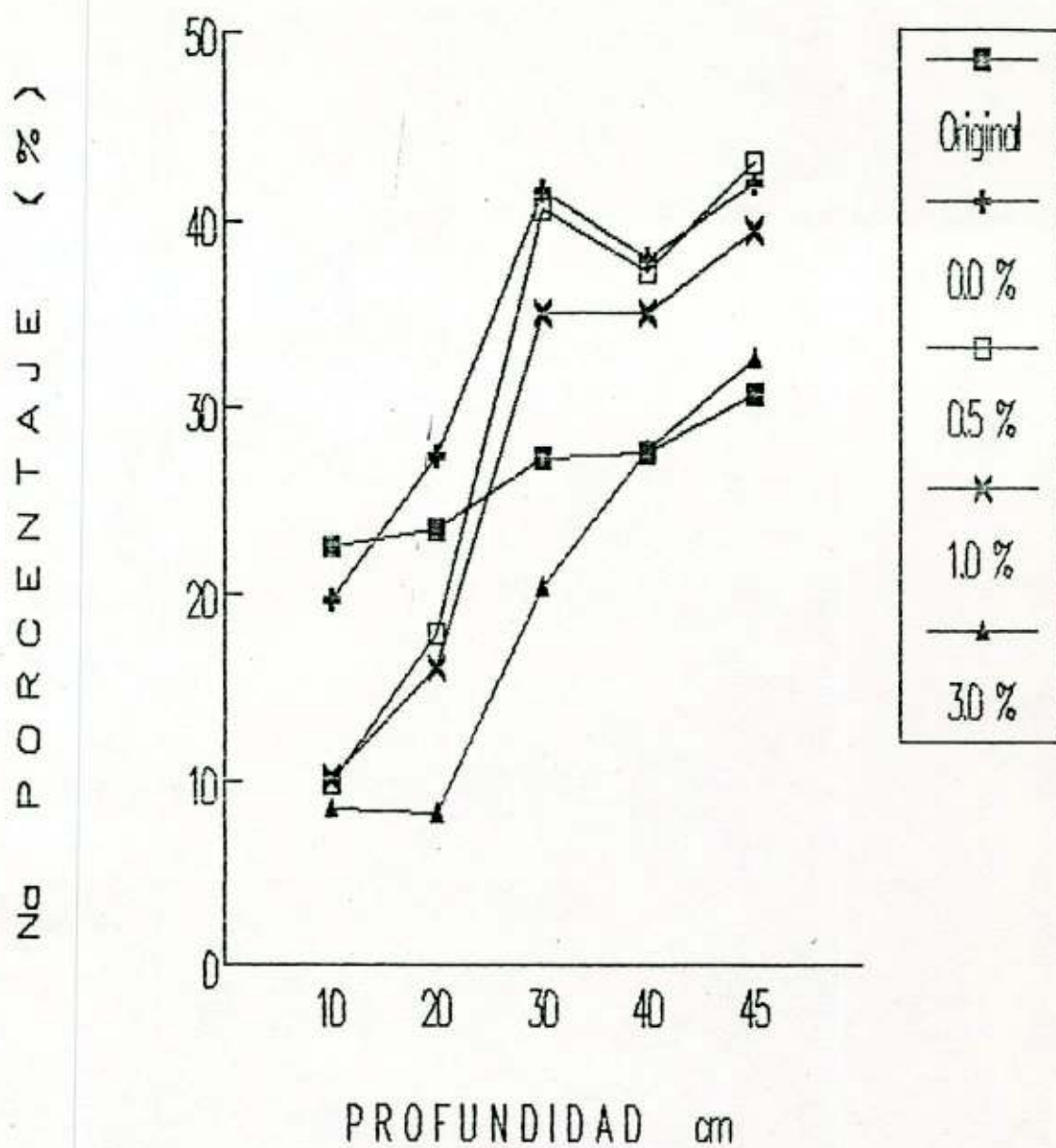


FIGURA 5. Cambios del Na intercambiable, en los distintos tratamientos de soluciones ácidas aplicadas.