

FECHA DE ADQUISICIÓN _____	
NUM. DE INVENTARIO	00200
PROCEDENCIA _____	
NUM. CALIFICACIÓN _____	
PRECIO	_____
DIST. _____	



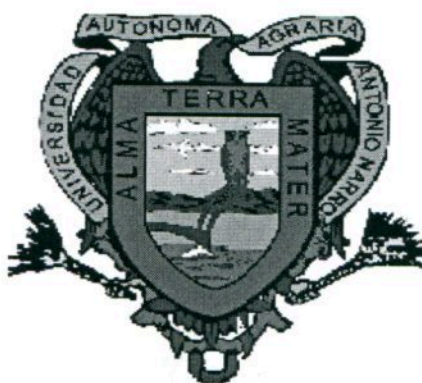
TL00200

S593
.L42
2006
TESIS LAG
Ej.1

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS Y SODICOS
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE YESO, SORGO
(*Sorghum vulgare Pers.*) Y AGUA DE RÍO.**

POR:

MANUEL EDGAR LECHUGA ROCHA.

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER ÉL TITULO
DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

AGOSTO DE 2006.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

00200

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS Y SÓDICOS MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE YESO, SORGO (*Sorghum vulgare Pers.*) Y AGUA DE RÍO.

TESIS DEL C. MANUEL EDGAR LECHUGA ROCHA QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DE LOS ASESORES COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL


M.C. CARLOS EFREN RAMIREZ CONTRERAS

ASESOR


M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO

ASESOR


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR


M.C. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.


M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS Y SÓDICOS MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE YESO, SORGO (*Sorghum vulgare Pers.*) Y AGUA DE RÍO.**

TESIS DEL C. **MANUEL EDGAR LECHUGA ROCHA** QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

PRESIDENTE.



M.C. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS

VOCAL.



M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO.

VOCAL.



M.C. FEDERICO VEGA SOTEL0

VOCAL SUPLENTE.



M.C. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.



M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

AGRADECIMIENTO.

Le doy gracias a mi Dios, por haberme permitido terminar la carrera satisfactoriamente con buena salud, le brindo los esfuerzos realizados en todo el ciclo escolar. Gracias Dios hay estamos.

A mi "Alma Terra Mater" por gran generosidad de permitirme ser uno mas de sus hijos pidiendome a cambio solo que me desarrollara tanto personal como profesionalmente.

Al M.C. José González Quirino y M.C. Carlos Efrén Ramirez por su apoyo y valiosa colaboración para la realización del trabajo de investigación

A los Ingenieros del PPROTTIR por su amistad y apoyo incondicional para que pudiera realizar mi trabajo de tesis.

A los profesores del Departamento de Riego y Drenaje, que aparte de transmitir conocimientos nos brindarán su apoyo y amistad.

DEDICATORIAS.

A mis padres, Aurelio Lechuga Jiménez y Eva Rocha Melero, por haberme dado la mejor arma para la vida, el estudio, gracias a su amor, consejos, apoyo y esfuerzos que realizaron ya terminé mi carrera se las brindo Ticos.

A mis hermanos: Osvaldo, Leticia, Juan, Olga, Cesar, Esmeralda, Amador y Elvis, por su apoyo cariño y por ser mis hermanos y amigos.

A mi novia: MVZ. Maura Lorena Salas Martínez, por su amor, amistad comprensión y por ser una de mis inspiraciones para superarme y triunfar en la vida, gracias mi greñuda.

A mis compañeros y amigos de clase por su sincera amistad y todas las aventuras que se vivieron durante el transcurso de la carrera.

Resumen.

La superficie irrigable en la Comarca Lagunera es de aproximadamente 200,000 has. de las cuales más del 12 por ciento están afectadas por problemas de salinidad y/o sodicidad.

La recuperación de suelos implica un mejoramiento de sus condiciones con respecto a las plantas; mientras que en suelos salinos es necesario reducir el contenido de sales y tomar medidas para evitar que se deterioren sus propiedades físicas, en cambio a los suelos sódicos el desplazamiento de sodio intercambiable de las micelas coloidales por el calcio, repercute en el mejoramiento de sus condiciones físicas.

Para rehabilitar y poner en cultivo suelos afectados por sales, es que pase una cantidad suficiente de agua por la zona donde se encuentra la raíz con el fin de reducir la concentración de sal hasta valores aceptables.

El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se ha usado por muchos años como fuente de Ca para desplazar el sodio del complejo de cambio con resultados variables. La aplicación superficial aunque mejora la velocidad de infiltración y recupera el suelo es un proceso muy lento debido a la baja movilidad del yeso en el suelo, por lo cual es aconsejable incorporarlo para colocar el Ca en donde se necesita y acelerar el proceso, también puede incorporarse con el agua de riego con buenos resultados.

La materia orgánica en su proceso de descomposición, los microorganismos del suelo liberan CO_2 , el cual al combinarse con el agua, forma ácido carbónico que hace solubles a sales de calcio precipitadas en el suelo.

Los estudios realizados, se llevaron en la empresa Hortalizas de la Laguna, en el predio Marte, ubicado en las coordenadas: $25^\circ 33' 1.8''$ latitud norte y $103^\circ 07' 50.64''$ longitud oeste, a una altura de 1050.17 metros sobre el

nivel del mar, perteneciente al municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila.

Se sembró sorgo forrajero, al que se le dio cuatro riegos incluyendo el de presembrado con una lamina promedio de 22.7 cm, al termino del ciclo se incorporó el cultivo al suelo, 38 ton/ha, para finalizar se aplicaron 10 ton/ha de yeso agrícola. Se dieron tres muestreos de salinidad. En los resultados la Conductividad Eléctrica (CE) disminuyó de 5.1 a 2.9 mSm/cm, el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) se redujo considerablemente de 5.5 a 0.2 mSm/cm, del calcio, magnesio y bicarbonatos se tuvo una disminución y los carbonatos en una etapa del estudio aumentaron pero al final de este bajar nuevamente hasta cero.

INDICE.

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. HIPÓTESIS.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. Salinidad y causas	4
4.1.1. Causas naturales	4
4.1.2. Causas antrópicas	5
4.2. Parámetros que intervienen en la salinidad	5
4.2.1. Conductividad Eléctrica (CE)	5
4.2.2. Relación del pH y disponibilidad de nutrientes	7
4.2.3 Acidificación y descalcificación	7
4.3. Sodicidad	8
4.3.1. PSI y RAS	8
4.3.2. Capacidad de Intercambio Cationico	10
4.3.2.1. Aniones	11
4.3.2.1.1. Cloruros	11
4.3.2.1.2. Sulfatos	12
4.3.2.1.3. Carbonatos y bicarbonatos	13
4.3.2.1.4. Nitratos.....	14
4.3.2.2. Cationes.....	14
4.3.2.2.1. Sodio (Na).....	14
4.3.2.2.2. Magnesio (Mg).....	15

4.3.2.2.3. Hierro (Fe)	15
4.4. Métodos de recuperación de suelos	16
4.4.1. Método Hidrotécnico	17
4.4.2. Aplicación de correcciones químicas que proporcionan Ca al suelo	18
4.4.3. Aplicación de mejoradores	18
4.4.4. Evolución de CO ₂ proveniente de la respiración de plantas para solubilizar CaCO ₃ y formar Ca (HCO ₃) ₂	20
4.5. Diagnostico y recuperación de suelos salinos y/o sodicos	20
4.6. Características y Uso del Suelo	21
V. MATERIALES Y METODOS	22
5.1. Características del Área de Estudio	22
5.1.1. Localización geográfica.....	22
5.1.2. Clima.....	22
5.2. Infraestructura, Superficie y Patrón de Cultivo.....	22
5.3. Preparación del terreno	23
5.3.1. Subsoleo	23
5.3.2. Barbecho.....	23
5.3.4. Nivelación.	24
5.3.5. Bordeo.	24
5.4. Siembra.....	24
5.5.- Muestreo de suelo para salinidad	25
5.6. Fertilización.....	25
5.7. Labores de cultivo.....	25
5.8. Riegos aplicables.....	25

5.8.1. Requerimientos de riego.....	26
5.8.2. Aplicación del riego.....	26
5.8.3. Calendario de riego.....	27
5.8.4. Características del agua de riego	27
5.9. Incorporación de sorgo y yeso agrícola (CaSO_4)	28
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	29
6.1. Respuesta del suelo a la salinidad, con aplicación de riego, yeso e incorporación de cultivo de sorgo.....	29
6.2. Respuesta del suelo a la sodicidad, con aplicación de riego, yeso e incorporación de cultivo de sorgo.....	30
6.3. Respuesta del Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), con aplicación de riego, yeso e incorporación de cultivo de sorgo.....	31
6.4. Respuesta de los carbonatos y bicarbonatos, con aplicación de riego, yeso e incorporación de cultivo del sorgo.....	32
VII. CONCLUSIONES.....	34
VIII. RECOMENDACIONES	35
IX. FUENTE DE INFORMACION.....	36

INDICE DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Disponibilidad de los nutrientes en base al pH	7
Figura 2. Comportamiento de la CE con aplicación de riego, yeso e incorporación de cultivo del sorgo	2
Figura 3. Comportamiento del PSI con aplicación de riego, yeso e incorporación de cultivo del sorgo.....	30
Figura 4. Comportamiento del Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) con aplicación de yeso e incorporación de cultivo de sorgo.....	31
Figura 5. Comportamiento de los carbonatos y bicarbonatos con aplicación de riego, yeso e incorporación de cultivo del sorgo.....	32

INDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Grados de Salinidad por United Status Salinity Laboratory de Riverside	6
Cuadro 2. Clasificación de los suelos en base a PSI y CE	10
Cuadro 3. Calendario de fertilizantes.....	25
Cuadro 4. Calendario de riego al cultivo de sorgo	27

I. INTRODUCCIÓN.

La aridez climática y la baja capacidad de infiltración aceleran los procesos de degradación de los suelos, en los últimos tiempos se han visto agravados por la introducción de los sistemas de riegos localizados de alta frecuencia, que mantienen la solución edáfica diluida, permitiendo así tener notables producciones, sin eliminar las sales o sodio del suelo.

La superficie irrigable en la Comarca Lagunera es de aproximadamente 200,000 has. de las cuales más del 12 por ciento están afectadas por problemas de salinidad y/o sodicidad, ya que en ella convergen: Presencia de material aluvial original rico en sales, uso de agua de riego de mala calidad que aporta una gran cantidad de sales, uso de suelos arcillosos sensibles al ensalitramiento y fuerte intensidad de explotación de agua y suelo durante todo el año.

La salinidad y/o sodicidad, afectan las condiciones físicas del suelo ya que al aumentar la dispersión del suelo se reduce la infiltración y aireación, químicamente aumenta el potencial osmótico y pH, ocasionando la fijación y precipitación de algunos elementos que dan como resultado un detrimento considerable en el rendimiento de dichos terrenos al alcanzar las sales niveles tóxicos para los cultivos.

Para recuperar los suelos con problemas de sales o sodio intercambiable existen los siguientes métodos: Físico, lo constituyen el barbecho profundo, el subsuelo y la adición de arena o inversión del perfil; biológico, consiste en incorporar estiércol, abonos verdes y establecimiento de cultivos tolerantes a las sales; eléctrico, se logra haciendo pasar una corriente directa a un volumen dado de suelo; hidrotécnico, o sea, el lavado y el drenaje; y el químico que se basa en el intercambio de sodio por calcio mediante el uso de las sales cálcicas de alta solubilidad, así como de ácidos y sustancias formadas de ácido, cuando el suelo contiene calcio en forma precipitada.

Hortalizas de la Laguna, tiene como principal actividad la explotación del cultivo de tomate, bajo un sistema de fertirrigación que implica la inyección de nutrientes concentrados. Debido a éste tipo de manejo, han aumentado los problemas de salinidad y/o sodicidad en una superficie de 67 ha. El proceso de acumulación de sales y/o sodio, fue por la aportación de agua a los cultivos a través de riego por goteo, esto hace que el suelo presente una baja capacidad de infiltración de agua, alta compactación y baja aireación. Así también la aplicación de los fertilizantes a través del agua de riego altera la composición de sales y como consecuencia la solución del suelo.

Por lo tanto, se pretende rehabilitar dicha superficie, mediante la aplicación de láminas de riego de agua de la presa, la siembra de un cultivo tolerante a este tipo de suelo y su incorporación al término de su ciclo, en este caso fue el sorgo forrajero (var. MWSUPERDAN) y la aplicación de yeso agrícola (CaSO_4) Este método, se realizó con el fin de que el cultivo de tomate pueda ser establecido nuevamente a bajos costos de mejoramiento

II. OBJETIVOS:

- Disminuir la salinidad y/o sodicidad del suelo, de manera que éste sea apto para el cultivo de tomate.

III. HIPOTESIS:

- Con láminas de riego de agua de la presa, aplicación de yeso agrícola y la siembra e incorporación del sorgo forrajero, se disminuyen los factores que intervienen en la salinidad y/o sodicidad del suelo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA.

4.1. Salinidad y causas.

La concentración de sales proporciona al suelo unas propiedades muy particulares con efectos muy nocivos para los cultivos. El Origen de las sales, tanto las de Ca, Mg, K como las de Na, proceden de muy diferentes orígenes. En líneas generales, pueden ser de origen natural o antrópicas.

Se distinguen dos situaciones, con morfologías, propiedades, génesis y usos de los suelos muy diferentes, según que el catión predominante en el complejo de cambio sea el Na^+ o el Ca^{++} .

Si el catión predominante es el Ca^{++} , las sales solubles son muy abundantes en el suelo. El perfil se encuentra muy poco diferenciado, pero su estructura tiende a ser estable, como resultado de la acción floculante del Ca^{++} . La alta presión osmótica de la solución del suelo es la responsable de la baja productividad. A estos suelos se les denomina suelos salinos (o suelos halomorfos). El suelo representativo es el solonchak.

4.1.1. Causas naturales

En primer lugar pueden proceder directamente del material original. Efectivamente algunas rocas, fundamentalmente las sedimentarias, contienen sales como minerales constituyentes. Por otra parte, en otros casos ocurre que si bien el material original no contiene estas sales, se pueden producir en el suelo por alteración de los minerales originales de la roca madre.

Por otra parte, también las sales disueltas en las aguas de escorrentía, se acumulan en las depresiones y al evaporarse la solución se forman acumulaciones salinas. Muchos de los suelos salinos deben su salinidad a esta causa.

La contaminación de sales de origen eólico es otra causa de contaminación. El viento en las regiones áridas arrastra gran cantidad de partículas en suspensión, principalmente carbonatos, sulfatos y cloruros que pueden contribuir en gran medida a la formación de suelos con sales.

4.1.2. Contaminación antrópica.

La salinidad del suelo también puede producirse como resultado de un manejo inadecuado por parte del hombre. La agricultura, desde su comienzo, ha provocado situaciones de salinización, cuando las técnicas aplicadas no han sido las correctas.

La actividad agraria y especialmente el riego, ha provocado desde tiempos remotos procesos de salinización de diferente gravedad: Cuando se han empleado aguas con un contenido de sales sin el debido control (acumulándose directamente en los suelos o contaminando los niveles freáticos), o bien cuando se ha producido un descenso del nivel freático regional y la intrusión de capas de agua salinas, situadas en zonas más profundas, como consecuencias de la sobreexplotación.

El empleo de elevadas cantidades de fertilizantes, especialmente los más solubles, más allá de las necesidades de los cultivos, es otra de las causas que provocan situaciones de altas concentraciones de sales, que contaminan los acuíferos y como consecuencia los suelos que reciben estas aguas.

Todas estas situaciones son muy típicas de zonas más o menos áridas sometidas a una actividad agrícola muy intensa.

4.2. Parámetros que intervienen en la salinidad.

4.2.1. Conductividad eléctrica (CE).

La conductividad eléctrica es el parámetro más extendido y ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm. Ahora en la

actualidad se expresan en dS/m (dS=diciSiemens), siendo ambas medidas equivalentes (1 mmhos/cm = 1 dS/m). La CE refleja la concentración de sales solubles en la disolución, Rhades y Verhoven (1978).

Los suelos salinos y no salinos, se diferencian en los límites arbitrarios de salinidad. Se acepta que las plantas empiezan a ser afectadas de manera adversa cuando el contenido en sales excede del 1%. La clasificación americana de suelos, adopta el valor de 2 dS/m como límite para el carácter salino a nivel de grupo y subgrupo, considera que a partir de ese valor las propiedades morfológicas y fisicoquímicas del perfil (y por tanto la génesis) quedan fuertemente influenciadas por el carácter salino. El laboratorio de salinidad de los EE.UU. ha establecido el límite de 4 dS/m para que la salinidad comience a ser tóxica para las plantas.

En base a la CE el United States Salinity Laboratory de Riverside establece los siguientes grados de salinidad.

Cuadro 1: Grados de salinidad por United States Salinity Laboratory of Riverside.

Tipo de suelo	valor	Características
Suelos normales.	0 – 2	La gran mayoría de los cultivos tienen un buen desarrollo, obteniendo rendimientos excelentes.
Suelos ligeramente salinos.	2 – 4	Quedan afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles
Suelos salinos.	4 – 8	Quedan afectados la mayoría de los cultivos
Suelos fuertemente salinos.	8 – 16	Sólo se obtienen rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes
Suelos extremadamente salinos.	16	Muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables

(Fuente: Pizarro 1978)

4.2.2. Relación entre el pH y disponibilidad de nutrientes.

El pH del suelo influye de forma decisiva en la mayor o menor disponibilidad de nutrientes necesarios para la planta.

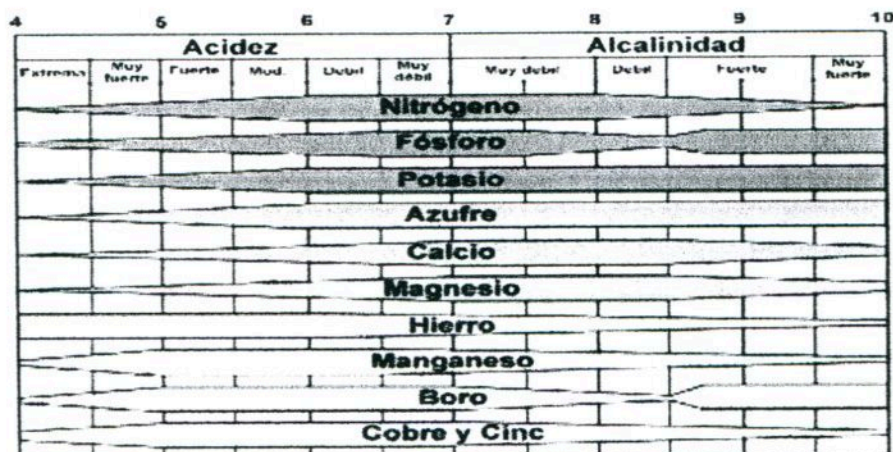


Figura 1. Disponibilidad de los nutrientes en base al pH.

La absorción de nutrientes, puede decirse que el pH aceptable está entre 6 y 7. (Figura 1).

4.2.3. Acidificación y descalcificación.

La acidificación es la tendencia del complejo de cambio del suelo a cargarse con más cantidad de iones H^+ , con el consiguiente detrimento del resto de los cationes minerales.

La descalcificación se produce cuando Ca^{2+} abona el complejo. Si en el suelo no existe una reserva de calcio, la descalcificación aparece como una fase preliminar de la acidificación ya que siendo el calcio el catión más abundante, su salida facilita la fijación de iones H^+ para contrarrestar la carga del complejo. De aquí proviene la eficacia de las enmiendas calizas para prevenir y combatir la acidificación. La descalcificación se produce principalmente por una importante extracción de Ca^{2+} de los cultivos. En segundo lugar dicha descalcificación también se produce por aguas

de lluvia que contiene pequeña cantidad de gas carbónico y que son capaces de disolver la caliza existente en el suelo, de tal forma que el calcio es arrastrado a capas más profundas en forma de bicarbonato de calcio.

Existen abonos que tienen una acción descalcificante, por lo que la acidificación de los suelos agrícolas cuando no hay una importante reserva de iones calcio, continúa inexorablemente a un ritmo más rápido cuanto más intensivo es el cultivo y cuanto mayor son las cantidades de abonos descalcificantes aportados.

La tasa de nitrificación es generalmente baja en suelos ácidos. Ocurre en un rango de pH de 4.5 a 10.0, pero las condiciones óptimas ocurren alrededor de pH de 8.5. la aplicación de mejoradores ácidos beneficia a las bacterias nitrificantes.

4.3. Sodicidad.

Simón (1996). En los suelos sódicos, es el sodio el que causa la toxicidad, que podemos centrar en tres vías distintas: efecto nocivo del sodio activo para el metabolismo y nutrición de las plantas; toxicidad debida a los bicarbonatos y otros iones; elevación del pH a valores extremos por acción del carbonato y bicarbonato sódicos.

4.3.1. Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI).

Díaz (1986). La concentración de sodio se mide en la solución del suelo o en el complejo de cambio. En el primer caso se denomina razón de adsorción de sodio (RAS) y en el segundo hablamos del porcentaje de sodio intercambiable (PSI). En los suelos es muy importante determinar que tipo de cationes predominan en el complejo absorbente (si es el Ca^{++} o por el contrario el Na^{+}). El porcentaje de Na^{+} respecto a los demás cationes adsorbidos se denomina mediante el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), y se determina con la siguiente ecuación.

$$\text{PSI} = \left(\frac{\text{Na}}{\text{CIC}} \right) 100 \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

PSI = Por ciento de sodio intercambiable (%).

Na = Concentración de Sodio (meq/lit).

CIC = Capacidad de intercambio cationico (meq/lit).

La capacidad de intercambio de cationes en ocasiones es llamada capacidad de cambio de cationes y se representada por CIC.

Un suelo puede empezar a sufrir problemas de sodificación y dispersión de la arcilla cuando el PSI es mayor al 15%.

Otra manera de determinar la sodicidad de un suelo es evaluar la concentración de Na⁺ en la solución del suelo en vez de medir su concentración en el complejo adsorbente como lo hace el PSI. Para estimar así el grado de codificación, (Richards et al,1954) proponen la razón de adsorción de sodio (RAS), calculada a partir de las concentraciones de Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en mmol / dm³ de solución salina.

El Ras se determina con la siguiente ecuación.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

RAS = Relación de adsorción de sodio.

Na = Concentración de sodio (meq/lto).

Mg = Concentración de magnesio (meq/lto).

Ca = Concentración de calcio (meq/lto).

A partir del RAS se puede calcular el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) con la siguiente ecuación:

$$PSI = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 * RAS)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 * RAS)} \dots\dots\dots(3)$$

Cuadro 2: Clasificación de los suelos en base al PSI y CE.

Tipo de suelo	CE (dsm)	PSI
Suelos normales	< 4	< 15
Suelos salinos	> 4	< 15
Suelos sodicos	< 4	> 15
Suelos salino sodicos	> 4	> 15

4.3.2. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

Algunas partículas del suelo tienen la propiedad de adsorber iones en su superficie que pueden intercambiar con la solución del suelo. Esta propiedad se le conoce como "capacidad de intercambio iónico", como la mayor parte de los iones

retenidos son cationes, dada la electronegatividad de los principales componentes, se habla frecuentemente de "capacidad de intercambio catiónico" y se utilizan las siglas "CIC", se expresa en meq/lit. Existe un equilibrio entre la concentración de iones en la solución y los retenidos por la fase sólida, este equilibrio es muy complejo y depende de la naturaleza del ion, del tipo de absorbente y principalmente de la reacción de la solución.

La CIC está ligada a los coloides del suelo representados por la arcilla, las moléculas húmicas y los oxihidróxidos de hierro y aluminio, se puede poseer en menor grado en las partículas de limo y de arena muy fina. Al conjunto de constituyentes implicados en este proceso se le conoce como "complejo de cambio".

Las partículas de arcilla y las moléculas orgánicas presentan una carga residual negativa sobre su superficie por lo que son intercambiadores catiónicos preferentemente.

4.3.2.1. Aniones.

No existe un mecanismo exacto de retención de aniones en el suelo. Por ejemplo, el nitrato (NO_3) es completamente móvil y se desplaza libremente en el agua del suelo. Cuando llueve abundantemente se mueve hacia abajo en el perfil del suelo con el exceso de agua. En condiciones climáticas extremadamente secas se mueve hacia arriba con el agua, produciendo acumulaciones de NO_3 en la superficie.

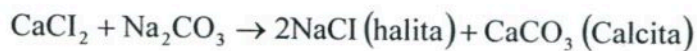
4.3.2.1.1. Cloruros.

El cloruro sódico es la sal más frecuente en los suelos salinos, junto con los sulfatos sódico y magnésico, suele formar parte de las eflorescencias blancas que aparecen en la superficie del suelo durante la estación seca. Su toxicidad es alta. El cloruro magnésico se acumula en suelos que tienen una salinidad extremadamente alta. Sal de toxicidad elevada y se puede formar en suelos con alto contenido en NaCl , en los que el Na^+ se intercambia con el Mg^{2+} adsorbido en las posiciones de intercambio:

Partícula absorbente - Mg + NaCl ----> Partícula absorbente Na + MgCl₂

Es una sal higroscópica, pudiendo absorber humedad del aire. Sus eflorescencias tienen un sabor amargo.

El cloruro cálcico, si bien su solubilidad es alta, es una sal poco frecuente en suelos debido a la mayor estabilidad de otras sales cálcicas, como los sulfatos o carbonatos.



Tanto el yeso como el carbonato cálcico se precipitan.

El cloruro potásico presenta propiedades análogas a las del NaCl, aunque es poco frecuente en los suelos debido a que el K se inmoviliza en el suelo, bien en la estructura de las arcillas de tipo hilita o bien en la biomasa debido a su carácter de macronutriente.

4.3.2.1.2. Sulfatos

El sulfato sódico es frecuente en suelos salinos. Sus eflorescencias tienen un sabor jabonoso-salado. Su solubilidad es afectada fuertemente por la temperatura, lo que hace que tienda a concentrarse en la superficie del suelo. Durante el período cálido asciende a la superficie del suelo formando parte de las eflorescencias (rasgo muy típico de los suelos salinos) y durante el período húmedo, que en nuestro clima coincide con el frío, se lava menos que las otras sales. Mucho menos tóxica que el sulfato magnésico.

El ion sulfato (SO_4^-) puede ser retenido con poca fuerza en algunos suelos y bajo ciertas condiciones, a pH bajo se pueden desarrollar cargas positivas en los extremos rotos de algunas arcillas donde se retiene SO_4^- . Los suelos que contienen óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al) hidratados, sea en la capa superficial o en el

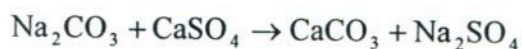
subsuelo, retienen algo de $\text{SO}_4^{=}$ en las cargas positivas desarrolladas en la superficie de estos coloides. Esta retención es mínima cuando el pH es mayor que seis. La materia orgánica en algunas ocasiones también desarrolla cargas positivas que atraen $\text{SO}_4^{=}$.

4.3.2.1.3. Carbonatos y bicarbonatos.

Los carbonatos y bicarbonatos sódicos presentan una solubilidad elevada, dependiendo de la temperatura. Su presencia en suelos en cantidades relativamente elevadas implica condiciones de alcalinidad ($\text{pH} > 9$) debido a la formación de OH^- .



La presencia de otras sales solubles en la solución del suelo limita la formación del carbonato y bicarbonato sódico, por lo que estas sales suelen ser abundantes cuando la salinidad total es baja, ya que se pueden producir las siguientes reacciones:



En las que el CaCO_3 y MgCO_3 son poco solubles y se precipitan, con lo que las reacciones se desplazan hacia la derecha. En presencia de NaCl , la solubilidad del carbonato y bicarbonato sódico disminuye igualmente por efecto del ión común.

La fuerte alcalinidad que origina, crea condiciones poco aptas para el crecimiento de los cultivos, pudiéndose presentar efectos desfavorables a concentraciones bajas (0.05 a 0.1 %). El bicarbonato sódico es menos alcalino que el carbonato, debido a que el ácido carbónico neutraliza en parte el efecto alcalino, su solubilidad es también menor que la del carbonato.

4.3.2.1.4. Nitratos.

El nitrato sódico es una sal muy soluble y tóxica, aunque poco frecuente y rara vez supera el 0.05 %, se han encontrado en cantidades elevadas en desiertos muy áridos de Chile, Perú, India, Arabia.

4.3.2.2. Cationes.

4.3.2.2.1. Sodio (Na).

El Sodio (Na) es un ion que imparte características indeseables a los suelos: dispersa la materia orgánica y destruye la estructura de las arcillas, lo que afecta la geometría de los poros y reduce la conductividad hidráulica. Por ello los suelos sódicos se tornan plásticos, pegajosos, húmedos, duros y difíciles de penetrar cuando están secos. Pizarro (1978)

En suelos sodicos se presentan problemas para la germinación y emergencia de las plantas, debido a un sellamiento superficial o formación de costras que impiden la aireación y penetración del agua. Es correcto encontrar encharcamientos producidos por el riego o acumulación de lluvia en aquellas áreas en donde se ha perdido la estructura del suelo y se ha deteriorado su capacidad de conducción hacia los estratos inferiores del perfil.

El pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios con pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos

La Capacidad de Intercambio Cationico (CIC), esta en función del contenido de arcilla y materia orgánica, fundamentalmente. En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su

valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

4.3.2.2.2. Magnesio (Mg).

Altas concentraciones de magnesio en el sustrato frecuentemente mas toxicas a las plantas que las concentraciones isosmóticas de sales neutras, esta toxicidad del magnesio se pueden atenuar con la presencia de concentraciones relativamente elevadas de iones de calcio en el sustrato

4.3.2.2.3. Fierro (Fe).

El Fe suele encontrarse en el suelo en cantidad suficiente formando distintos compuestos, destacando los óxidos e hidróxidos. Sin embargo, la cantidad total no se correlaciona con la cantidad disponible para las plantas.

La coloración de los suelos es debida en su mayoría a la presencia de los óxidos libres. Los colores amarillo-pardos de las zonas templadas-frías se deben a la presencia de óxidos hidratados como la goetita y las coloraciones rojas de regiones áridas son debidas a óxidos no hidratados como la hematita.

Las formas del Fe son:

Solubles cuando se encuentra en condiciones reductoras, como Fe^{2+} y sus formas hidroxiladas $\text{Fe}(\text{OH})_n^{2-n}$ en la disolución del suelo. Cuando el potencial de oxidación y acidez sean altos se encuentra como Fe^{3+} y sus formas hidroxiladas $\text{Fe}(\text{OH})_n^{3-n}$ - En combinaciones orgánicas formando complejos, en forma divalente y trivalente.

Insoluble: Como oxihidróxidos férricos (goetita, hematita, maghemita, lepidocrocita, ferridrita). En forma de oxihidróxidos mixtos de Fe (III) y Fe (II) como la magnetita o el óxido ferrósico.

- En forma de FeCO_3 , siderita, en suelos muy reducidos.

Los contenidos de arcilla y materia orgánica influyen en la disponibilidad del Fe. En los suelos arcillosos, existe una tendencia a retener el Fe. Un contenido adecuado de materia orgánica, actúa de forma favorable en cuanto al aprovechamiento del Fe por parte del cultivo, debido a sus características acidificantes y reductoras, así como a la capacidad de determinadas sustancias húmicas para formar quelatos en condiciones adversas de pH.

El hierro es el elemento más importante de los micronutrientes para el sorgo. Su deficiencia produce clorosis (amarillamiento). Las mayores carencias de este elemento se observan en suelos con altos contenidos de carbonatos de Ca y alta proporción de sodio. Es muy importante un balance adecuado de nutrientes, ya que la deficiencia de unos o varios de ellos puede afectar la respuesta de otros. Por ejemplo una deficiencia de P no corregida limitará la respuesta a la fertilización nitrogenada.

4.4. Métodos de recuperación de suelos.

Aceves (1981) indica que la recuperación de suelos implica un mejoramiento de sus condiciones con respecto a las plantas; mientras que en suelos salinos es necesario reducir el contenido de sales y tomar medidas para evitar que se deterioren sus propiedades físicas, en cambio a los suelos sódicos el desplazamiento de sodio intercambiable de las micelas coloidales por el calcio, repercute en el mejoramiento de sus condiciones físicas.

Caraveo (1984) indica que hay diversos métodos para recuperar los suelos salinos sódicos, y presenta la siguiente agrupación para los comunes.

a). Físicos: Los constituye principalmente el barbecho profundo, el subsuelo, la adición de arena y la inversión del perfil. Algunos investigadores (Hoffman, 1981) han encontrado que la labranza profunda de suelos sódicos calcáreos es una técnica que da buenos resultados porque mejora la tasa de infiltración al romper horizontes compactos o capas que restringen el movimiento de agua. Si en el subsuelo se encuentra yeso el proceso de recuperación es más eficiente.

- b). Biológicos: Consiste en incorporar materia orgánica como estiércoles, abonos verdes, compostas o establecer plantas nativas o cultivos tolerantes.
- c). Eléctricos: Influyen en la recuperación de suelos salinos-sódicos y sódicos, mediante el paso de una corriente eléctrica.
- d). Químicos: Se basa en el intercambio de sodio por el calcio, mediante el uso de sales cálcicas de alta y baja solubilidad, así como de ácidos y formadores de ácidos, cuando el suelo contiene calcio en forma precipitada.
- e). Hidrotécnicos: Fundamentados en el lavado y el drenaje como parte del proyecto de recuperación de una salinización secundaria.

4.4.1. Método Hidrotécnico.

Bohn (1993) menciona que el requisito principal para rehabilitar y poner en cultivo suelos afectados por sales, es que pase una cantidad suficiente de agua por la zona donde se encuentra la raíz con el fin de reducir la concentración de sal hasta valores aceptables. El paso de un metro de agua lixivante por cada metro de profundidad de suelo en condiciones tales que el agua forme encharcamientos, puede remover aproximadamente el 80 por ciento de sales solubles. Se han ideado varias técnicas para poner en cultivo suelos afectados por sales. El encharcamiento es el método tradicional que comprende la construcción de un dique grande alrededor del terreno de cultivo. Enseguida, se procura conservar una profundidad sustancial de agua (un tercio de metro o más) dentro del dique para lixiviar las sales del suelo. Este proceso tiene poca efectividad porque pasa gran cantidad de agua por los poros grandes del suelo donde ya han sido eliminadas las sales.

Una técnica de lixiviación más efectiva es el método de infiltración. El suelo se nivela y se deja que el agua de riego se desplace de un lado a otro por todo el terreno

suelo. Se debe considerar siempre la permeabilidad del suelo, pues si la permeabilidad del suelo es baja el efecto del lavado inicial no se cumple.

El yeso y el azufre, se aplican en general al voleo y luego se incorporan al suelo con discos o arados. La incorporación debe ser muy completa en el caso del azufre para acelerar su oxidación a ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico, se aplica, con equipos especiales de aspersión sobre el terreno dado su forma líquida. Otros mejoradores se aplican en el agua de riego.

Polisulfuro de calcio o del yeso. En algunos casos conviene aplicar el mejorador a profundidad, excepto cuando se usa el azufre, los suelos deben de ser lavados inmediatamente después de aplicado el corrector, porque ese lavado lo disuelve y lo transporta en profundidad, eliminando también las sales solubles de sodio que se forman por el intercambio con el suelo. En el caso del azufre no debe lavarse el suelo hasta un tiempo después, para dar tiempo a que se produzca la oxidación, y por lo tanto pasa a la forma activa (ácido sulfúrico).

Se acusa a menudo al sulfato de amonio de acidificar los suelos. Esta acción acidificante se debe a que tiene el nitrógeno en forma amoniacal, por el sulfato que produce una acción descalcificante al formar sulfato de calcio, de naturaleza liposoluble, que es arrastrado en profundidad por las aguas de lluvia o riego aunque difícilmente se observe este efecto en suelos con gran contenido de calcio. El sulfato de amonio es resultado de la acción de un ácido fuerte (sulfúrico) sobre una base débil (amoníaco), esto explica que sus soluciones estén parcialmente hidrolizadas y tengan una reacción ligeramente ácida. Por la misma razón, la ebullición les hace desprender amoníaco.

4.4.4. Evolución de CO₂ proveniente de la respiración de plantas tolerantes para solubilizar CaCO₃ y formar Ca (HCO₃)₂

Los suelos sódicos calcáreos se pueden recuperar más rápidamente si se encuentran bajo cultivo, especialmente de plantas tolerantes. Algunos investigadores atribuyen al efecto del cultivo a efectos físicos de las raíces mejorando la permeabilidad del suelo a medida que penetran en él. (Chabra y Abrol 1977) Una alta presión del CO₂ favorece la solubilización del CaCO₃.

4.5. Diagnóstico y recuperación de suelos salinos y/o sodicos.

Para hacer un buen diagnóstico es necesario partir de un muestreo adecuado. Las sales no afectan uniformemente un área dada, sino que su efecto se manifiesta con mayor o menor intensidad en forma de parches o manchas, o sea que existe una gran variabilidad espacial en todas direcciones. En algunos casos la concentración de sales aumenta con la profundidad y en otros se acumulan en la superficie.

Es importante determinar si hay iones que acompañan al Na en su efecto dañino, como sucede en algunas áreas en donde el Na predomina en los horizontes superficiales y el Mg lo hace en los subsuperficiales, En estos casos se ha comprobado que el Mg puede tener un efecto contaminante sobre el suelo ayudando a la dispersión de las arcillas. El muestreo de suelos se debe hacer en cuadrícula a distancias de 50 a 100 m y a profundidades que sobrepasen la profundidad radicular de la especie vegetal que se quiere sembrar.

El análisis de laboratorio debe incluir todos aquellos parámetros indispensables para un buen diagnóstico: pH, materia orgánica, cationes intercambiables (Ca, Mg, Na y K), elementos menores (Fe, Mn, Cu, Zn y B), textura, capacidad de intercambio cationico, azufre, cationes en solución (Ca, Mg, Na y K) y aniones en solución

(CO₃, HCO₃, Cl, NO₃, SO₄). Con base en los resultados analíticos puede calcularse la relación de absorción de sodio (RAS) y el porcentaje sodio intercambiable (PSI).

Con base en los resultados analíticos se debe determinar el tipo de afección que tiene el suelo: sales, sodio, sales y sodio, acumulación de iones tóxicos para las plantas (Na, Cl, SO₄ y B) o la existencia de desbalances nutricionales en el caso de cultivos establecidos.

4.6. Características y Uso del Suelo.

Se pueden distinguir cinco tipos de suelo:

Xerosol: Suelo de color claro y pobre en materia orgánica y en el subsuelo es rico en arcilla y/o carbonatos, con baja susceptibilidad a la erosión.

Regosol: No presenta capas distintas, es claro y se parece a la roca que le dio origen. Su susceptibilidad a la erosión es muy variable y depende del terreno en el que se encuentre.

Litosol: Suelos sin desarrollo con profundidad menor de 10 centímetros, tiene características muy variables según el material que lo forma. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona donde se encuentre, pudiendo ser desde moderado a alta.

Yermosol: Tiene una capa superficial de color claro y muy pobre en materia orgánica, el subsuelo puede ser rico en arcilla y carbonatos. La susceptibilidad a la erosión es baja, salvo en pendientes y en terrenos con características irregulares.

Solonchak: Presenta un alto contenido en sales en algunas partes del suelo y es poco susceptible a la erosión.

Respecto al uso del suelo, la mayor parte del territorio municipal es utilizado para el desarrollo pecuario, siendo menor la extensión dedicada a la producción agrícola y el área urbana.

V. MATERIALES Y METODOS.

5.1. Características del Área de Estudio.

5.1.1. Localización geográfica.

Los estudios realizados, se llevaron en la empresa Hortalizas de la Laguna, en el predio Marte, ubicado en las coordenadas: 25° 33'1.8'' latitud norte y 103° 07' 50.64'' longitud oeste, a una altura de 1050.17 metros sobre el nivel del mar, perteneciente al municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila.

5.1.2. Clima.

El clima en el municipio es de subtipos secos semicálidos; la temperatura media anual es de 16° a 18° C; en la parte norte-centro; en la parte sur-sureste es de 20° a 22° C, y la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 200 a 300 milímetros, con régimen de lluvias en los meses de mayo a octubre; los vientos predominantes tienen dirección sur con velocidad de 20 a 27 Km/hr. La frecuencia de heladas es de 0 a 21 días y granizadas de cero a un día, en los meses de noviembre a marzo.

5.2. Infraestructura, Superficie y Patrón de Cultivo.

La P.P. Marte que pertenece a la empresa Hortalizas de la Laguna, cuenta con 86 hectáreas, de las cuales se aprovechan 10.46 ha. de nogal y alfalfa, como infraestructura de riego, el predio tiene un sistema de riego con tubería de compuertas, el cual es abastecido de un pozo profundo con un gasto total de 39 litros por segundo, y con derechos de agua de río.

Los suelos en estudio, se caracterizan por un potencial de Hidrogeno (pH) de 8.0, Conductibilidad Eléctrica (CE) de 5.1mSm/cm, Razón de absorción de sodio (RAS) de 4.9, con un contenido de sodio de 19.1 meq/lt. y un Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) de 5.57 ds/cm. Por lo anterior, dichos suelos son salinos con ligeros problemas de sodio. Por su textura el suelo se caracteriza por ser migajón arcilloso en el estrato de 0-50 cm, cuya infiltración básica es de 1.2 cm/hr; de ahí en adelante éste cambia a arenoso, con una infiltración básica de 3.0 a 60 cm/hr.

5.3.- Preparación del terreno.

Para obtener un buen rendimiento del cultivo de sorgo, requieren de suelos bien preparados, por lo que se realizaron las labores de subsoleo, barbecho, rastreo, nivelación y bordeo. A continuación se describen las actividades realizadas:

5.3.1.- Subsoleo.

Con el paso de la maquinaria sobre el cultivo a través de los años, los suelos se compactan lo cual provoca que las raíces y el agua penetren con dificultad, para evitar que este problema se presente, se dio un subsuelo a una profundidad de 70 – 80 cm.

5.3.2.- Barbecho.

Con esta labor, se incorporan los restos del cultivo anterior y se permite que el aire, el agua y las raíces de las plantas penetren fácilmente; para lograr un buen establecimiento del cultivo de sorgo se dio un barbecho de una profundidad de 40 cm.

5.3.3.- Rastreo.

Después del barbecho quedan terrones muy grandes, para desbaratarlos se dio una rastra cruzada, con el fin de formar una buena cama de siembra.

5.3.4.- Nivelación.

La nivelación se realizó con rayo laser, dándose una pendiente de 2 cm. por cada 100 m. Esta actividad es de gran importancia durante la etapa de la preparación de la cama de siembra, ya que en suelos bien nivelados se obtiene una distribución mas uniforme de la semilla y fertilizante.

La pendiente se determinó por un modelo de simulación de riego (SIRMOD), con el cual se obtuvo un ancho y largo de melga, gasto parcelario, tiempo de riego y pendiente. Con la pendiente de 2 cm por cada 100 m de largo de melga, se obtuvo la mayor eficiencia de riego (noventa por ciento).

5.3.5.- Bordeo.

Se trazaron bordos a cada 27 m con una longitud de 100 m, esto dio como resultado melgas de 2,700 m². Los bordos que se levantaron fueron de 1.8 m de ancho con una altura de 0.50 m. Después se levantaron cabeceras y recibidores para un buen manejo del agua de riego.

5.4.- Siembra.

Para realizar esta actividad se utilizó una sembradora-fertilizadora de precisión, la siembra se comenzó el 5 de abril y concluyo el 14 de abril del 2004. El promedio de semilla de sorgo fue de 8 kg/ha, la variedad de semilla elegida fue mwsuperdan. Para la siembra de la superficie de 67 ha. se utilizaron 536.00 kg de semillas de sorgo.

5.5.- Muestreo de suelo para salinidad.

Para hacer un buen diagnóstico es necesario partir de un muestreo adecuado. Las sales no afectan uniformemente un área dada, sino que su efecto se manifiesta con mayor o menor intensidad en forma de parches o manchas, o sea que existe una gran variabilidad espacial en todas direcciones. En algunos casos la concentración de sales aumenta con la profundidad y en otros se acumulan en la superficie.

Es importante determinar si hay iones que acompañan al Na en su efecto dañino, como sucede en algunas áreas en donde el Na predomina en los horizontes superficiales y el Mg lo hace en los subsuperficiales, En estos casos se ha comprobado que el Mg puede tener un efecto contaminante sobre el suelo ayudando a la dispersión de las arcillas. El muestreo de suelos se realizó en cuadrícula a distancias de 50 a 100 m y a profundidades que sobrepasen la profundidad radicular de la especie vegetal que se quiere sembrar. Se realizaron tres análisis de suelo efectuándose; el 4 de abril, 28 de mayo y el 29 de agosto del 2004, todos a una profundidad de 30 cm.

5.6. Fertilización.

La fertilización se realizó para satisfacer las necesidades de nitrógeno y fósforo, del cultivo de sorgo, por lo que se aplicaron los fertilizantes urea (46 -00 -00) y Fosfato Monoamónico (11- 52 -00).

Se aplicó un total de 490 kg/ha de fertilizante, distribuidos de la siguiente manera:

Cuadro 3: Calendario de fertilización.

Fecha de aplicación.	Producto aplicado.	Kg/ha
5/abril/2004	Urea (46 -00 -00)	102
5/abril/2004	MAP (11-52 -00)	102
4/Abril/2004	Urea (46-00-00)	286

5.7. Labores de cultivo.

Se aplicó una escarda antes del primer riego de auxilio el 5 de mayo de 2004. Esta actividad es de gran importancia ya que permite la remoción e incorporación del suelo y el control de la maleza del cultivo de sorgo

5.8. Riegos aplicados.

El recurso agua con el que se ejecutaron los riegos fue proveniente de la presa (agua de gravedad).

5.8.1. Requerimientos de riego.

Para determinar los requerimientos de riego se utilizó la ecuación de lámina de riego (ecuación 4), partiendo de los parámetros físicos del suelo tales como: Densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchites permanente y profundidad a humedecer.

$$Lr = \frac{(Cc - Pmp)Da * Pr}{100} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

Lr = Lámina de riego por aplicar (cm).

Cc= Capacidad de campo (%).

Da= Densidad aparente (gr/cm³).

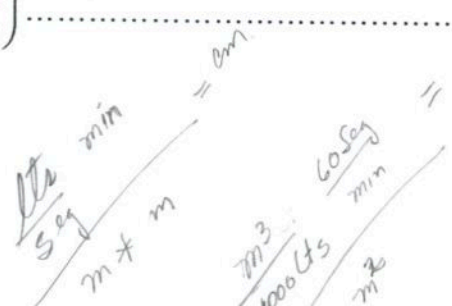
Pr= Profundidad a humedecer o profundidad de raíz (cm).

5.8.2. Aplicación del riego

El riego se aplicó en melgas, se determinó la lamina aplicada mediante el gasto del canal, dimensiones de la melga y tiempos de riego, para comprobar la lamina aplicada se utilizó la siguiente ecuación:

$$Lra = 6 * \left(\frac{Qr * Tr}{Am * Lm} \right) \dots\dots\dots(5)$$

Donde:



Lra = Lamina de riego aplicada (cm).

Qr= Gasto de riego en la melga (lps).

Tr= Tiempo de riego (min).

Am= Ancho de melga (m).

Lm= Largo de melga (m).

6 = Coeficiente de conversión de metros, minutos, litros a cm y seg.

5.8.3.- Calendario de riego.

El calendario de riego se ejecuto de acuerdo a la disponibilidad del agua de presa y planeación de la persona responsable de dicha área y es el siguiente:

Cuadro 4.- Calendario de riego al cultivo de sorgo.

Tipo de Riego	Fecha de aplicación	Lr	Dds
Presiembra	29/marzo/2004	21	-----
Primer auxilio	16/mayo/2004	28	41
Segundo auxilio	10/junio/2004	21	66
Tercer auxilio	11/julio/2004	21	97

Dds = Días después de la siembra.

Lr = Lamina de riego de agua de presa (cm).

5.9. Incorporación de sorgo y yeso agrícola (CaSO_4).

La importancia de agregar materia orgánica es para mejorar la fertilidad del suelo. Generalmente, la materia orgánica, regula los procesos químicos, biológicos y físicos que en él ocurren. Se cortó, pesó, e incorporó el 22 de julio del 2004, añadiendo 38 ton./ha de sorgo, en una superficie de 67 has.

El 26 de julio de 2004, se aplicaron 10 ton/ha de yeso agrícola, esta práctica se realizó con la ayuda de una estercolera. Esta práctica se realizó con el fin de disminuir la sodicidad presente en el suelo. El yeso agrícola es lo más económico como fertilizante y enmienda de suelo; es un compuesto mineral de origen natural granulado con elevada concentración de sulfato de calcio; corrector de alcalinidad, corrige los efectos producidos por elevados valores de pH del suelo, aporta azufre en forma de sulfato asimilable por las plantas; calcio elemental en forma balanceada, logrando recuperar la capacidad productiva del suelo.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION.

6.1. Respuesta del suelo a la salinidad, con aplicación de riego yeso e incorporación de cultivo de sorgo.

Con la aplicación de riegos de agua de presa y el establecimiento del cultivo de sorgo (figura 2), se tuvo una disminución de la CE de 5.1 a 3.8 mSm/cm en la etapa incorporación sorgo, indicando que la interacción cultivo establecido mas riegos, fué posible bajar una salinidad de un 25.5 por ciento, mientras que la segunda etapa que abarca desde la incorporación del cultivo hasta la incorporación del sulfato de calcio (yeso agrícola), fue posible disminuir la CE de 3.8 a 2.9 mSm/cm, equivalente al 21.4 por ciento. La diferencia se detecta con respecto al tiempo, siendo más lento el efecto del cultivo – riegos (29 de marzo al 22 de julio del 2004) que la del efecto incorporación sorgo-yeso (22 de julio al 29 de agosto del 2004).

La disminución de la salinidad en la interacción cultivo-riegos (figura 2), se dio cuando se aplicó el agua y la humedad del suelo excedió la capacidad de campo, el drenaje y el escurrimiento de las sales se iniciaron, de manera que bajó la presión osmótica del suelo lo que le permitió al cultivo un mejor desarrollo.

El efecto incorporación sorgo – yeso (figura 2), interactuó en la disminución de las sales del suelo, de manera que el sulfato de calcio al ser aplicado, formó sulfato sódico, siendo esta una sal casi neutra y es lavable, mientras que la materia orgánica reaccionó con el carbono formando CO_2 , evitando su presencia en cantidades muy elevadas.

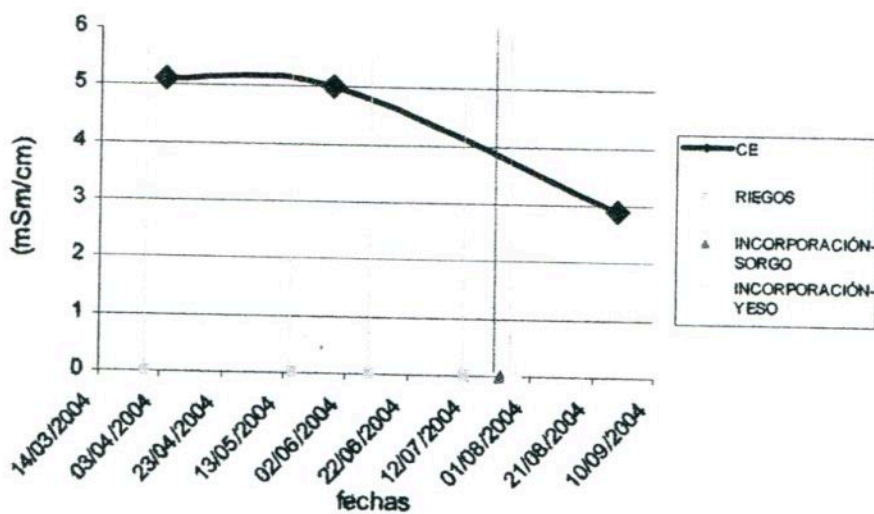


Figura 2.- Comportamiento de la CE con aplicación de riego, yeso e incorporación de cultivo del sorgo.

6.2. Respuesta del suelo a la sodicidad, con aplicación de riego yeso e incorporación de cultivo de sorgo.

Con la aplicación de riegos de agua de presa y el establecimiento del cultivo de sorgo (figura 3), el PSI disminuyó de 5.5 a 3.2 por ciento en la etapa de incorporación de sorgo, esto indica que la interacción cultivo establecido más riegos, fué posible disminuir la sodicidad en un 42.5 por ciento, debido a la lixiviación del sodio soluble por la presencia del riego; mientras que en la segunda etapa abarca la incorporación del sorgo mas la aplicación de sulfato de calcio (yeso agrícola) disminuyó el PSI de 3.2 a 0.2 por ciento equivalente al 92.8 por ciento. La practica de incorporar sorgo-yeso, redujo la sodicidad, debido a que el sodio intercambiable se encapsuló como sulfato de sodio ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$) al reaccionar con el yeso agrícola (CaSO_4) y con la humedad presente en el suelo se presipitó como sulfato de sodio, el cual es fácil de lixiviar.

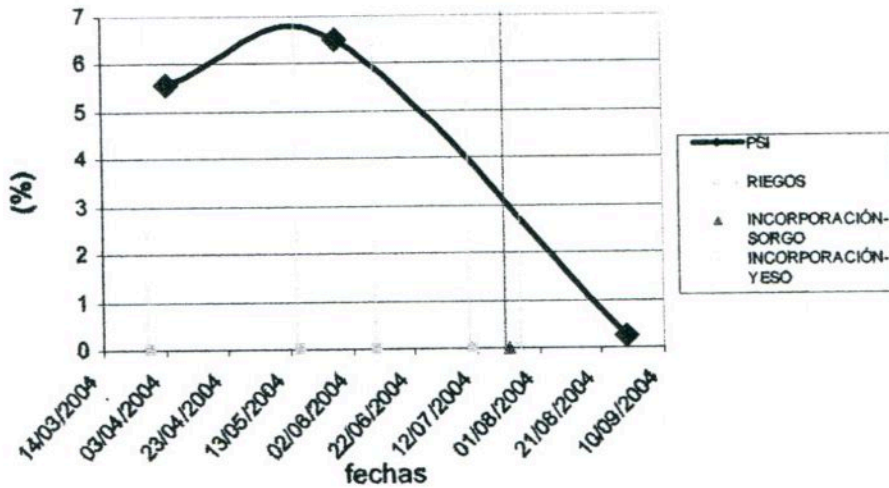


Figura 3.- Comportamiento del PSI con aplicación de riego, yeso e incorporación de cultivo del sorgo.

6.3. Respuesta del suelo al calcio (Ca) y magnesio (Mg), con aplicación de riego yeso e incorporación de cultivo de sorgo.

En el proceso de la descomposición de la materia orgánica, los microorganismos del suelo liberan CO_2 , el cual al combinarse con el agua, forma ácido carbónico que hace solubles a sales de calcio precipitadas en el suelo (figura 4); además esos abonos orgánicos juegan un papel muy importante en la oxidación y reducción de los elementos esenciales haciéndolos mas aprovechables por las plantas.

El magnesio no figura en cantidades altas, debido a la presencia de concentraciones relativamente elevadas de iones de calcio en el sustrato (figura 4).

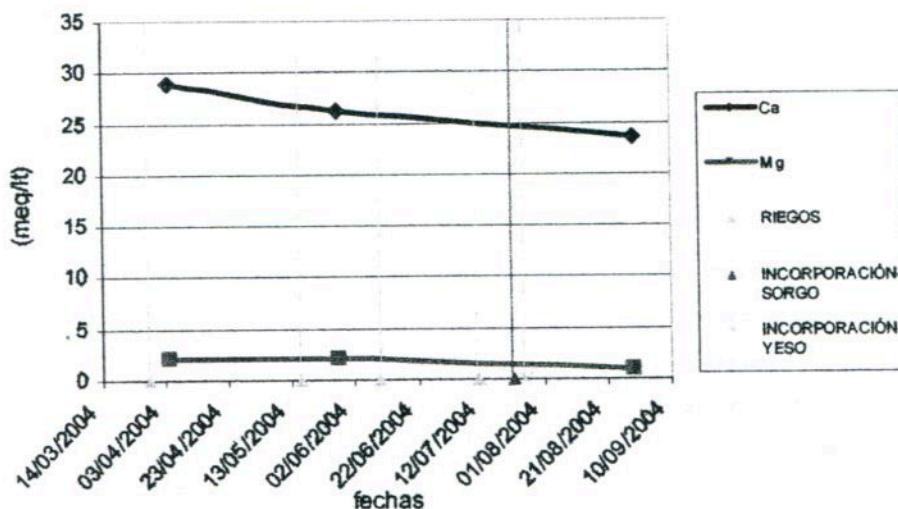


Figura 4.- Comportamiento del Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) con aplicación de yeso e incorporación de cultivo del sorgo

6.4. Respuesta del suelo a los carbonatos y bicarbonatos, con aplicación de riego yeso e incorporación de cultivo de sorgo.

Los carbonatos y bicarbonatos sódicos presentan una solubilidad elevada en presencia de altas temperaturas; y las aplicaciones de riego, sorgo y yeso se realizaron del mes de abril al mes de agosto (Figura 5), en este periodo se presentaron temperaturas de 32 a 37 °C. Esto indica que los carbonatos y bicarbonatos estuvieron solubles en todo el periodo evaluado. Por otra parte la presencia de carbonatos y bicarbonatos en cantidades relativamente elevadas implica condiciones de alcalinidad en pH mayores de nueve debido a la formación de OH. Sin embargo la concentración de bicarbonatos y carbonatos se presentaron en cantidades pequeñas en un pH que osciló de 7.8 a 8.2 en el periodo evaluado, además de esto la presencia de otras sales solubles en la solución del suelo limita la

formación del carbonato y bicarbonato sódico, motivo por el cual no se presentaron condiciones de alcalinidad.

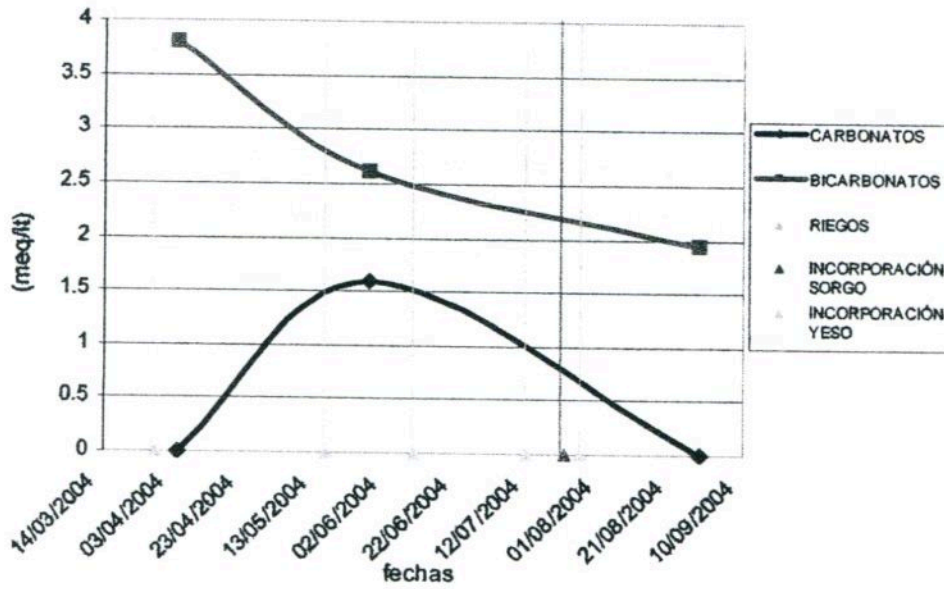


Figura 5.- Comportamiento de los carbonatos y bicarbonatos con aplicación de riego, yeso e incorporación del cultivo de sorgo

VII.- CONCLUSIONES

- Con riegos de agua de presa, siembra del cultivo de sorgo, incorporación del cultivo y aplicación de yeso agrícola, se disminuyó la salinidad y sodicidad del suelo, permitiendo que el cultivo de tomate pueda ser explotado nuevamente.
- Con la metodología aplicada fué posible disminuir la concentración de carbonatos, bicarbonatos, calcio y magnesio.

VIII.- RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la presente investigación con tratamientos y análisis de suelos y planta en periodos cortos de siete días, esto es para obtener una función matemática del comportamiento de los factores que intervienen en la salinidad y/o sodicidad del suelo.

IX. FUENTE DE INFORMACION.

Aceves, N.E. 1979. El Esalitramiento de los suelos bajo riego. Identificación , control combate y adaptación. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.

Alawi, B.J., Phillips, R.E. and Thomas, W.W 1980 Quality of Irrigation Water and Effects of Sulfuric Acid and Gypsum on Soil Properties and Sundangras Yiels.

Bohn, H.L. 1993. Quimica del Suelo Primera Edición Editorial Limusa. México D.F. pp 259 -260 – 281 – 283.

Caraveo, L. F. 1984. Efecto de la aplicación de acido sulfúrico en diferentes concentraciones, sobre los procesos de mejoramiento de un suelo salino – sódico del preio de Montecillos.

Coronado, M.J.F. 1998. Uso de mejoradotes quimicos y organicos para la recuperación de suelos salinos – sódicos.

Díaz, E. F. 1986. Efecto de la salinidad sobre los cultivos.

Fernandez, G. R. 1972. El problema en la salinidad de suelo en México y trabajos de recuperación de tierras ensalitradas.

Flores, L., Enriquez, P. y Nevárez, G. 1996. Salinidad un nuevo concepto. Primera Edición México D.F. pp. 23 – 43 – 62 – 63.

Martínez, R de C. E. 1988. Evaluaci' n de la eficiência de seis mejoradores químicos atres laminas de lavado em um suelo salino – sódico.

Pizarro, F. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de los Suelos Salinos

Quiroga. G. H. M. 1986. Efectos del estado de madurez al corte sobre la producción, calidad y persistencia de la alfalfa.

www.chapingo.mx/terra/contenido/20/3/art.329-336.pdf

[3http://www.fertiberia.com/serviciosonline/analisisdetierra./suelossalinos/recuperacion.html](http://www.fertiberia.com/serviciosonline/analisisdetierra./suelossalinos/recuperacion.html)

[4 http://tarwilamolina.edupe/jgoicochea/sillabos/salinidad.htm](http://tarwilamolina.edupe/jgoicochea/sillabos/salinidad.htm)

<http://agronomia.uchile.cl/webcursos/cmd/Felipe%20aburto/recuperaci%3n%20de>

[5 http://www.zoetecnocampo.com./documentos/recuperacion/recuperacion02htm](http://www.zoetecnocampo.com./documentos/recuperacion/recuperacion02htm)

<http://www.eco.sitio.com.ard/desertificaci%3n.htm>

[2 http://.edafologia.ugr.es/conta/tema/2/sales.htm](http://.edafologia.ugr.es/conta/tema/2/sales.htm)

<http://www.ambiente-ecologico.com/revist37alejandromalpartida037.htm>

[1 http://www.mliarium.com/proyectos/suelos/manuales/salinidadsuelos.asp](http://www.mliarium.com/proyectos/suelos/manuales/salinidadsuelos.asp)