

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**MÉTODO PARA PROPICIAR CONDICIONES DE DISPONIBILIDAD DE
NUTRIENTES EN EL SUELO CON EL USO DE UN MEJORADOR
QUÍMICO.**

POR

OMAR GOMEZ GUTIERREZ.

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

AGOSTO DE 2005.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

METODO PARA PROPICIAR CONDICIONES DE DISPONIBILIDAD DE
NUTRIENTES EN EL SUELO CON EL USO DE UN MEJORADOR
QUÍMICO.

TESIS DEL C. OMAR GOMEZ GUTIERREZ 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. JOSE GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO

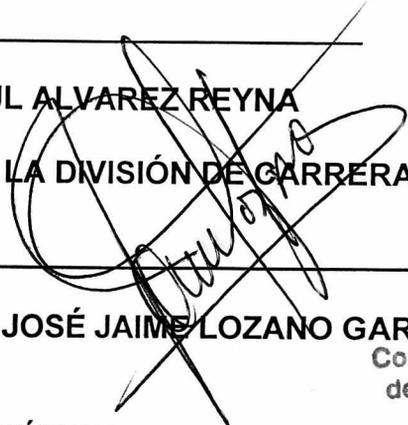
ASESOR


ING. MANUEL ANTONIO ESCOBAR AVILA

ASESOR.


PhD. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.


M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA


Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**METODO PARA PROPICIAR CONDICIONES DE DISPONIBILIDAD DE
NUTRIENTES EN EL SUELO CON EL USO DE UN MEJORADOR
QUÍMICO.**

TESIS DEL C. **OMAR GOMEZ GUTIERREZ** 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 RAMIREZ CONTRERAS

VOCAL.


M.C. JOSE GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO

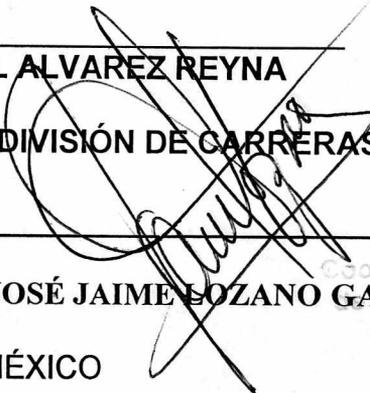
VOCAL.


ING. MANUEL ANTONIO ESCOBAR AVILA

VOCAL SUPLENTE.


PHD. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.


M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA



Coordinación de la División
Agronómicas

TORREÓN COAHUILA MÉXICO

AGOSTO DE 2005

INDICE.

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. METAS.....	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
5.1. Salinidad	4
5.1.1. Conductividad eléctrica (Ce)	4
5.2. Relación entre el pH y disponibilidad de nutrientes.....	5
5.2.1. Acidificación y descalcificación	6
5.2.2. Amortiguación del suelo	7
5.2.3. Acción de urea sobre el pH	7
5.3. Sodicidad	9
5.3.1. PSI y RAS	9
5.4. Capacidad de intercambio cationico	11
5.5. Aniones	12
5.5.1. Cloruros.....	12
5.5.2. Sulfatos	13
5.5.3. Carbonatos y bicarbonatos.....	14
5.5.4. Nitratos.....	15
5.6. Cationes	15
5.6.1. Que es el sodio	15

5.6.2. La aplicación de correcciones químicas que proporcionan Ca al suelo al disolverse	16
5.7. Aplicación de los mejoradores.....	17
5.7.1. Velocidad del mejorador.....	18
5.7.2. Cálculos requeridos de mejorador.....	19
5.8. Disponibilidad de nutrientes en el suelo	20
5.8.1. Zinc.....	20
5.8.2. Cobre.....	21
5.8.3. Hierro	21
5.8.4. Manganeseo.....	23
5.8.5 Nitrógeno.....	24
5.8.6. Fósforo	24
5.8.7. Potasio	25
5.8.8. Materia orgánica.....	25
5.9. Diagnostico y recuperación de suelos sodicos.....	28
5.9.1. Diagnostico y recuperación de suelos.....	28
5.9.2. Uso de aguas altamente salinas con cationes divalentes o adiciones con yeso.....	28
5.9.3. Inducción de una reacción ácida mediante la aplicación de un material formador de Ácidos en el suelo que contengan CaCO_3	29
5.9.4. Labranza profunda	29
5.9.5. Evolución de CO_2 proveniente de la respiración de las plantas tolerantes, para solubilizar CaCO_3 y formar $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	30

VI. Materiales y Método.....	31
6.1. Localización.....	31
6.2. Localización geográfica del área experimental.....	31
6.3. Clima	31
6.4. Temperatura	31
6.5. Infraestructura	32
6.6. Patrón de cultivo	32
6.7. Características del mejorador químico.....	32
6.8. Preparación del mejorador químico.....	33
6.9. Aplicación del mejorador :.....	33
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
6.1. PSI, CIC	34
6.2. Aniones y cationes	35
6.3. Micronutrientes	36
6.4. Macronutrientes	37
6.5. Rendimiento	39
VII. Conclusiones	41
VIII Recomendaciones	42
IX. Anexos.....	43
X. Literatura citada	50

INDICE DE ANEXOS.

	Pág.
8.1. Cálculos para determinar la cantidad de mejorador necesidad por hectárea	44
8.1.1. Necesidad del mejorador meq/100gr de suelo	44
8.1.3. Miliequivalentes totales necesarios de mejorador por hectárea sin corregir	45
4.1.4. Miliequivalentes necesarios totales de mejorador por hectárea Corregidos	45
8.1.5. Cantidad del mejorador a utilizar.....	46
8.1.5.1.1. Kilogramos de mejorador para ácido sulfúrico al 100 por ciento de pureza.....	47
8.1.5.2. Kilogramos de mejorador polisulfuro de calcio al 100 por ciento de pureza.....	47
8.1.5.3. Kilogramos de mejorador para ácido sulfúrico al 100 por ciento de pureza.....	47
8.1.5.4. Kilogramos de mejorador yeso al 100 por ciento de pureza.....	48
8.1.5.5. Kilogramos de mejorador sulfato ferroso al 100 por ciento de pureza.....	48
8.1.5.6. Kilogramos de mejorador sulfato de amonio al 100 por ciento de pureza.....	48

INDICE DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Disponibilidad de los nutrientes en base al pH.....	5
Figura 2. Capacidad de intercambio cationico (CIC).....	34
Figura 3. Por ciento de sodio intercambiable (PSI)	35
Figura 4. Aniones y cationes	36
Figura 5. Micronutrientes	37
Figura 6. Concentraciòn de nitrógeno y fósforo	38
Figura 7. Concentraciòn de potasio.....	39

INDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Grados de Salinidad por United Status Salinity Laboratory de Riverside	5
Cuadro 2. Clasificación de los suelos en base a PSI y CE	11
Cuadro 3. Aplicación del mejorador por hectárea	33
Cuadro 4. Costos de agroquímicos y rendimiento del cultivo.....	40
Cuadro 5. Costos de agroquímicos y rendimiento del cultivo.....	40

INDICE DE CUADROS DE ANEXOS.

Cuadro 1a datos de suelo para calculo	44
Cuadro 2a miliequivalentes aportados por tonelada de mejorador al 100 por ciento de pureza	50
Cuadro 3 ^a análisis físico químico del suelo	51

DEDICATORIA.

A mi dios por no abandonarme en todo momento que lo necesite, porque a ti señor te debo todo lo que soy, gracias usted por ser tan generoso conmigo y permitirme obtener una de mis metas.

A mis padres por haberme apoyado incondicionalmente y por su confianza.

A mis hermanos por el apoyo moral que tanto necesite durante mi carrera

Muy especial a una mujer que quiero mucho y que siempre confió en mi a pesar de todo, quiero agradecerle por ser tan buena gracias mama por tu confianza te quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS.

A los ingenieros del PROTTIR por su apoyo incondicional para que yo pudiera realizar mi trabajo de investigación.

Al M.C. Carlos Efrén por su valiosa colaboración y asesoría en mi tesis.

A mis compañeros de salón por haberme impulsado a seguir hacia adelante y gracias por estar en los momentos más difíciles de mi carrera.

Al ingeniero José Guadalupe González Quirino por su valiosa colaboración y apoyo que me dio durante mi trabajo de investigación.

Al ingeniero Edgar y Bogar por colaborar en este trabajo y su apoyo incondicional.

RESUMEN.

La aplicación del sulfato de amonio representa un potencial para la disponibilidad de los nutrientes del suelo en cuanto a sus características químicas y físicas, la respuesta del sulfato de amonio, depende de los contenidos de pH, PSI y la Capacidad de intercambio cationico (CIC).

Los suelos de la comarca lagunera son una excelente opción para aprovechar el uso del fertilizante con residualidad ácida para evaluar la disponibilidad de los nutrientes a través de análisis de suelos.

El trabajo se realizo en la P.P. "El Porvenir" la cual se encuentra ubicada en el Municipio de Francisco I. Madero, coah; Carretera Gómez Palacio Dgo. – Fco. I. Madero Coah. La pequeña Propiedad "El Porvenir" a evaluar se encuentra cerca del Ejido Porvenir de arriba del Municipio de Francisco I. Madero, Coah. Con ubicación geográfica entre los 103° 12' 10" de longitud w, y 25° 59' 04" de latitud norte con una altitud de 1150 msnm.

En el Predio el Porvenir se aplico sulfato de amonio ultrasoluble en tres riegos obteniendo un total de 850 kilogramos. Por cada aplicación se realizo un muestreo dándonos como resultado un incremento en la CIC y una disminución del PSI, en cuanto a los micronutrientes se encontraron disponibles y los macronutrientes se encontraron en rangos medios, dándonos como resultado un incremento en el rendimiento de sorgo forrajero de un 70 por ciento.

I. INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos de regadío constituyen unos de los procesos de degradación del suelo que en mayor medida contribuyen a la desertificación.

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 de la Comarca Lagunera es de aproximadamente 200,000 ha de las cuales más del 12% están afectadas en diferentes magnitudes por sales y/o sodio. la presencia del material madre 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 por una fuerte intensidad de explotación de agua y suelo durante todo el año.

La salinidad es el proceso de acumulación de sales en suelos con predominio del Ca y Mg. Cuando el Na predomina, el suelo evoluciona desarrollándose un proceso de alcalinización. El Origen de sales, tanto de Ca, Mg, K como las de Na, proceden de diferentes orígenes, natural o contaminaciones antrópicas.

Para recuperar los suelos con problemas de sales existen los siguientes métodos: el biológico, consiste en incorporar estiércol, abonos verdes y establecimiento de cultivos tolerantes a las sales, 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.

La mayor parte de los suelos sódicos presentan una fuerte impermeabilidad superficial, por ello es necesario estabilizar la capa superficial y mejorar su drenaje, para continuar avanzando en profundidad con la capa estabilizada, es por lo cual se decidió utilizar el sulfato de amonio para mejor disponibilidad de nutrientes y mejoramiento de los suelos.

II. OBJETIVOS

Incrementar la disponibilidad de nutrientes mediante la aplicación de un mejorador químico

I. HIPÓTESIS

Con la aplicación de un mejorador químico aumenta la disponibilidad de nutrientes

IV. METAS

En seis meses disminuir el PSI con la aplicación de un mejorador químico (sulfato de amonio ultrasoluble).

V. REVISIÓN DE LITERATURA.

5.1. Salinidad.

5.1.1. 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. las medidas se expresan en dS/m (dS=deciSiemens), siendo ambas medidas equivalentes ($1 \text{ mmhos/cm} = 1 \text{ dS/m}$). La CE refleja la concentración de sales solubles en la disolución.

Los suelos salinos de 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 uno %. La clasificación americana de suelos, adopta el valor de dos 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 estableció el límite de cuatro dS/m para que la salinidad comience a ser tóxica para las plantas.

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

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

Tipo de suelo	valor	Características
Suelos normales.	0 – 2	
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

5.2. Relación entre el pH y disponibilidad de nutrientes.

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

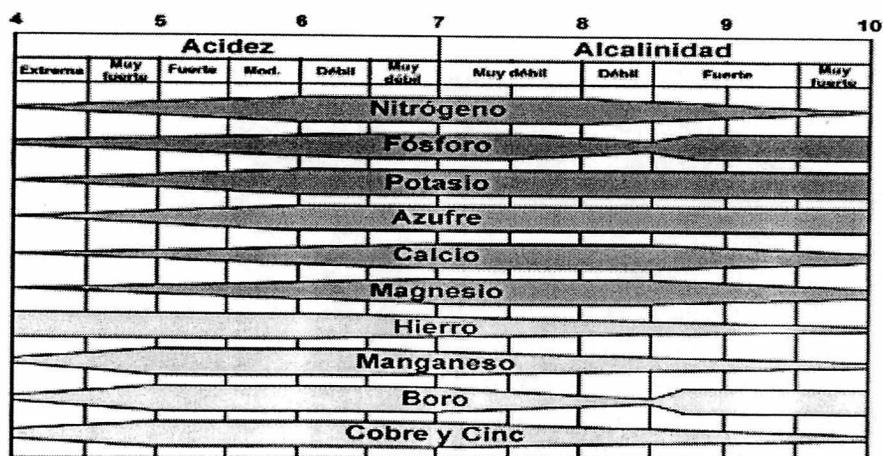


Figura 1. Disponibilidad de los nutrientes en base al pH.

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

5.2.1. 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.

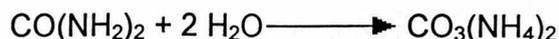
La Tasa de nitrificación es generalmente baja en suelos ácidos. Ocurre en un rango de pH de 4.5 — 10.0, pero las condiciones óptimas ocurren alrededor de pH de 8.5. la aplicación de mejoradores ácidos beneficia a las bacterias nitrificantes.

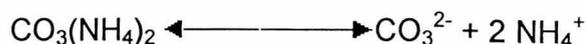
5.2.2. Amortiguación del suelo.

El suelo tiene un poder amortiguador por el cual, al aplicarle ácidos o bases, él no varía en gran medida. El poder amortiguador está relacionado, por un lado, con la existencia de coloides en su composición, y así aquellos suelos con mayor contenido coloidal, tendrán mayor capacidad de amortiguación de pH y por otro, está relacionado con su capacidad de intercambio, cuanto mayor sea ésta, mayor poder amortiguador tendrá el suelo. La capacidad de amortiguación es distinta según el tipo de suelo.

5.2.3. Acción de urea sobre el pH.

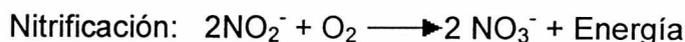
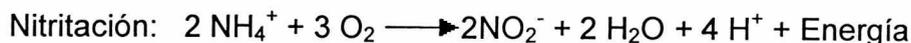
La urea ($CO(NH_2)_2$) no es exigente en cuanto a la naturaleza del suelo, con excepción de los suelos muy ácidos, que son poco activos biológicamente. En un principio se observa un comportamiento básico (al pasar de amida a carbonato amónico).





Posteriormente la forma amoniacal pasa a forma nítrica (liberando H^+ al medio), forma en que la mayoría de las plantas toman el nitrógeno del suelo. El comportamiento final de la urea es de carácter ácido, por lo que se hace necesario la aportación de cal complementaria en terrenos ácidos.

Las reacciones que se realizan durante la oxidación enzimática de nitrificación son complejas, pero se pueden resumir, de forma simple:



Por lo que la reacción que se da en caso del carbonato amónico procedente de la urea es finalmente de carácter ácido:



Hay que destacar la sensibilidad de las bacterias responsables de la nitrificación a las condiciones ambientales, principalmente a su carácter aeróbico estricto. Por lo cual la nitrificación se ve afectada en terrenos inundados ácidos o fríos.

5.3. Sodicidad.

5.3.1. PSI y RAS.

La concentración de sodio mide en la solución del suelo o en el complejo de cambio. En el primer caso se denomina razón de absorción 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 adsorbente (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).

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

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 del 15 por ciento.

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 sodificación, (Richards et al,1954) proponen la razón de absorción 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.

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

Donde:

RAS = Relación de absorción 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:

$$PSI = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 * RAS)}{1 + (-0.00126 + 0.01475 * RAS)} \dots\dots\dots(3)$$

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

5.4. 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", mas 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 "C/C", 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 adsorbente y principalmente de la reacción de la solución.

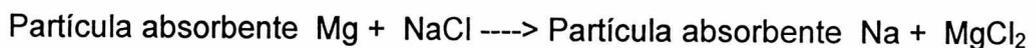
La CIC está ligada a los coloides del suelo representados por la arcilla, las moléculas húmicas y los oxihidróxidos de hierro y aluminio, se puede poseer en menor grado en las partículas de limo y de arena muy fina. Al conjunto de constituyentes implicados en este proceso se le conoce como "complejo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

5.5. 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.

5.5.1. 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:



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.

5.5.2. Sulfatos

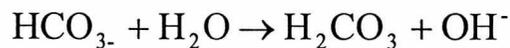
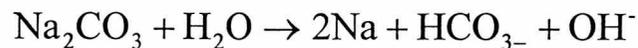
El sulfato sódico es frecuente en suelos salinos. Sus eflorescencias tienen un sabor jabonoso-salado. Su solubilidad afectada fuertemente por la temperatura, lo que hace que tienda a concentrarse en la superficie del suelo. Durante el período cálido asciende a la superficie del suelo formando parte de 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 SO_4^- en las cargas positivas

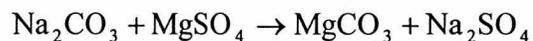
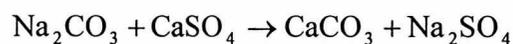
desarrolladas en la superficie de estos coloides. Esta retención es mínima cuando el pH es mayor que 6.0. La materia orgánica en algunas ocasiones también desarrolla cargas positivas que atraen SO_4^- .

5.5.3. Carbonatos y bicarbonatos.

Los carbonatos y bicarbonatos sodicos 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 reacciones como:



En las que el CaCO_3 y MgCO_3 son poco solubles y 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 originan 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.

5.5.4. 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.

5.6 Cationes.

5.6.1. 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, en consecuencia la conductividad hidráulica. Por ello los suelos sódicos se tornan plásticos, pegajosos, húmedos, duros y difíciles de penetrar cuando están secos.

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 un pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos

Es 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.

5.6.2. Aplicación de correcciones químicas que proporcionan Ca al suelo.

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.

5.7. Aplicación de mejoradores.

La eficiencia de acción del mejorador en la situación del sodio (Na), será mayor si previo a la aplicación del producto se realiza un lavado de las sales solubles del suelo. La consecuencia del lavado será una mayor absorción del calcio por parte del 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 descalificante 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

5.7.1. Velocidad de reacción del mejorador.

La selección del mejorador puede estar determinada por el tiempo que requiere su reacción en el suelo. En general los mejoradores más baratos actúan más lentamente; por lo tanto si se desea una situación inmediata se deberán aplicar un mejorador de acción rápida y en consecuencia caro. El CaCl_2 es de reacción rápida y eficaz pero debido a su alto costo rara vez lo utilizan, los sulfatos de hierro y aluminio son también de acción rápida pues se combinan con el agua de inmediato pasando a formar ácido sulfúrico pero económicamente no son muy convenientes. El ácido sulfúrico es de acción rápida y más barato que los anteriores. Por su costo relativamente bajo, el yeso y azufre son los mejoradores más usados para rehabilitar suelos alcalinos. La reacción del yeso está limitada únicamente por su baja solubilidad en agua, la cual es alrededor del 25 por ciento a temperaturas normales, La presencia de una buena lamina de riego. El azufre necesita ser oxidado primero por la acción microbiana para llegar a la forma de sulfato. Por lo tanto se clasifica como mejorador de acción lenta. Se debe de tener

en cuenta que tanto en el caso de azufre como del yeso el tamaño de partícula, a menor tamaño más rápida reacción. El polisulfuro de calcio, que es un líquido oscuro, se debe primero oxidarse el azufre hasta ácido sulfúrico para ser activo, por lo tanto es de reacción lenta.

Para obtener las aplicaciones de toneladas por hectárea se utilizaron las siguientes ecuaciones.

5.7.2. Cálculos de requerimientos de mejorador.

$$NM = \frac{(PSI_i - PSI_f/100) * CIC}{100} \dots\dots\dots(4)$$

NM = Necesidad del mejorador

PSI_i = Por ciento de sodio intercambiable inicial del suelo (%).

PSI_f = Por ciento de sodio intercambiable final del suelo (%).

CIC = Capacidad de intercambio catiónico del suelo (%).

$$DM = \frac{(PSI_i - PSI_f/100) * CIC * P_{eq} * Pr * Da}{100} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

DM = Dosis del mejorador químico (ton/ha).

P_{eq} = Peso equivalente del mejorador químico.

Pr = Profundidad o espesor del suelo a recuperar (cm).

Da = Densidad aparente del suelo (gr/cm³).

5.8. Disponibilidad de nutrientes en el suelo.

5.8.1. Zinc

El Zn procede de diferentes minerales, principalmente silicatos, sulfuros, óxidos y carbonatos. En la disolución del suelo se encuentra fundamentalmente como Zn^{2+} , sin que tenga propiedades redox.

La deficiencia en Zn se da en una amplia variedad de suelos como son los suelos, calcáreos, margosos y arenosos pobres en materia orgánica.

En cuanto al pH, el Zn se encuentra más disponible en suelos ácidos que en alcalinos, siendo su mínima disponibilidad a pH por encima de 7. En los suelos de pH ácido las carencias pueden aparecer después del abonado con fosfatos solubles que forman fosfatos de Zn que son muy insolubles. En los suelos calizos de alto pH aparecen más las deficiencias de Zn.

Es importante resaltar que el Zn se concentra en los horizontes altos (2/3 del total del Zn asimilable se encuentra en la capa arable).

Las temperaturas elevadas en el suelo ocasionan una fuerte absorción de micronutrientes.

5.8.2. Cobre

Los niveles normales de Cu en suelo son de 2 a 100 mg/Kg, considerándose un valor medio de 30 mg/Kg. La forma en que se encuentra

normalmente es como Cu^{2+} , en su mayoría como constituyente de las estructuras cristalinas de los minerales primarios y secundarios.

El Cu total no da información sobre la disponibilidad de este elemento, por lo que se recomienda utilizar métodos de extracción, como por ejemplo los que utilizan DTPA como agente extractante.

5.8.3. Fierro

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 mas 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 limitara la respuesta a la fertilización nitrogenada.

5.8.4. Manganeseo

Debido a sus diferentes grados de oxidación (II, III y IV) y a la propiedad de pasar con facilidad de una forma a otra.

Las formas en que se puede presentar en el suelo son:

Ion manganeso Mn^{2+} (divalente) en la disolución del suelo. Es intercambiable y disponible para las plantas.

Óxidos e hidróxidos (MnO_2 , $MnOOH$) o asociado a hidróxidos de hierro. En algunos suelos puede presentarse formando capas sobre los planos de separación de los agregados o adoptando la forma de hojas de helecho. En estos estados el Mn no es cambiante ni disponible.

Sales poco solubles (fosfatos de Mn (II) y Mn (III), carbonatos de Mn(II)), sobre todo en suelos calizos y alcalinos.- Participando en compuestos orgánicos.

La presencia del Mn disponible, Mn (II), depende tanto del pH como del potencial redox. Un pH superior a 5,5 favorece la oxidación por acción biológica en suelos bien aireados, por lo que disminuye su disponibilidad. A su vez, las formas oxidadas se reducen, pasando ser más disponibles, a pH más ácido y en suelos reducidos. El Mn es más móvil que el Fe y, frecuentemente se distribuye en el perfil del suelo de forma diferente a éste. Las sustancias húmicas lo reducen fácilmente y como se oxida con dificultad en medio ácido, es también en estas condiciones de medio como emigra. La disponibilidad esta dependiendo por el pH, que modifica su comportamiento en el suelo según su solubilidad, absorción e inmovilidad.

5.8.5. Nitrógeno

Los cultivos absorben abundante N del suelo. La cantidad depende del tipo de cultivo y cosecha. A pesar de que la remoción de nutrientes a cosecha no se considera como pérdida, en realidad lo es. El efecto neto de la remoción de N por los cultivos reduce los niveles de N en el suelo. Por otro lado, las pérdidas de N en forma gaseosa son tanto o más importantes y se describen a continuación.

Reacciones del amonio: Cuando se aplican fertilizantes nitrogenados que contienen el sulfato de amonio, en la superficie de suelos alcalinos o calcáreos, se producen reacciones químicas que pueden causar pérdidas de N en forma de amoníaco (NH_3) gaseoso, en un proceso denominado volatilización. Reacciones similares pueden ocurrir en suelos recientemente encalados. Las pérdidas por volatilización pueden ser elevadas en condiciones de alta temperatura y humedad. Para evitar estas pérdidas se debe incorporar los fertilizantes que contienen NH_4 , cuando éstos se utilizan en suelos alcalinos o calcáreos.

5.8.6. Fósforo.

Dependen del pH para su correcta absorción. Con un pH elevado puede se precipitar en forma de fosfatos de calcio y verse reducida la disponibilidad de ambos. En pH bajo es más probable la formación de fosfato de hierro que inducirá deficiencia de este micronutriente si las concentraciones de fósforo son elevadas.

5.8.7. Potasio

Potasio no disponible. El potasio no disponible es retenido fuertemente en la estructura de los minerales primarios del suelo (rocas). El potasio es liberado a medida que los minerales se meteorizan o descomponen por acción de los agentes ambientales como temperatura y humedad. Esta liberación es tan lenta que el potasio no está disponible para las plantas en un ciclo de crecimiento en particular. El proceso de meteorización es tan lento que toma cientos de años para acumular cantidades significativas de potasio disponible en el suelo. Generalmente, los suelos de regiones cálidas y húmedas son más meteorizados que los de climas fríos y áridos. Los suelos menos meteorizados son más ricos en potasio que aquellos que han soportado la prolongada acción de altas temperaturas y humedad.

Potasio disponible — El potasio disponible es aquel que se encuentra en la solución del suelo y el que está retenido en forma intercambiable por la materia orgánica y las arcillas del suelo.

5.8.8. Materia orgánica.

La materia orgánica se comporta de forma semejante a los bordes de la arcilla por los hidroxilos presentes tanto en sus cadenas laterales como en las zonas externas del núcleo. Como quiera que el número de hidroxilos de la materia orgánica es mucho mayor que los efectos de borde de la arcilla, la importancia de las cargas variables en las sustancias húmicas es mayor que en la arcilla. Algo similar sucede en los minerales de baja cristalinidad, como ocurre con las alofanas

derivadas de las cenizas volcánicas preferentemente, en que existe una gran accesibilidad a las zonas internas de su estructura; en este caso la práctica totalidad de sus cargas son variables.

El importante número de cargas variables de la materia orgánica se pone de manifiesto cuando se determina su capacidad de intercambio cationico a diversos valores de pH, no solo se produce un notable incremento con el ascenso de pH, sino que para valores de pH cercanos a uno su capacidad se anula. En el caso de la arcilla solo se produce un ligero incremento.

Las cargas variables son las responsables de la retención de aniones tanto en la arcilla como en las sustancias húmicas. Los aniones, por su mayor tamaño, tienen una movilidad menor que los cationes, lo que resulta de especial importancia en el caso del fosfato, que acrecienta el efecto por el hecho de su escasa solubilidad, de modo que en este caso cabe más hablar de fijación que de intercambio. Los suelos ácidos y ricos en materia orgánica pueden retener tal cantidad de fosfato que provoquen carencias en la vegetación, aun con concentraciones elevadas de fosfato total.

5.9. Diagnostico y recuperación de suelos 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 catiónico, azufre, cationes en solución (Ca, Mg, Na y K) y aniones en solución (CO_3 , HCO_3 , Cl, NO_3 , SO_4). 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, SO_4 y B) o la existencia de desbalances nutricionales en el caso de cultivos establecidos.

5.9.1. Diagnostico y recuperación de suelos.

Estudios realizados, que incluyen experiencias de campo y de laboratorio han demostrado que suelos con altos contenidos de sodio se pueden rehabilitar utilizando aguas con alto contenido de sales. La condición para que este método dé resultados satisfactorios es que el agua salina utilizada como corrector contenga cantidades relativas de sodio menores que el suelo ha rehabilitar. La técnica consiste en lavar el suelo con el agua salina y luego se sigue lavando con esa misma agua pero diluida con otra fuente de agua que contenga menor cantidad de sales en solución, o sea disminuyendo sucesivamente el contenido salino del agua correctora.

5.9.2. Uso de aguas altamente salinas con cationes divalentes o adiciones con yeso.

Un suelo sódico se puede recuperar más rápidamente mediante aplicaciones sucesivas de diluciones de aguas altamente salinas que contengan Ca y Mg. Reeve y Bower (1960) demostraron Este fenómeno está basado en el principio de dilución; la dilución es una solución del suelo en equilibrio químico con un suelo que contenga Na, Ca y Mg intercambiables favorece la retención de los cationes divalentes por lo que después de la dilución es más fácilmente desplazable del complejo de cambio. Esta técnica necesita más estudio principalmente en aquellas áreas en donde no se dispone de aguas con altos

contenidos de cationes divalentes, caso en el cual se pueden adicionar con yeso o con cloruro de calcio.

5.9.3. Inducción de una reacción ácida mediante la aplicación de un material formador de ácidos en suelo que contenga CaCO_3 .

El azufre o el ácido sulfúrico se usan frecuentemente con el fin de inducir la conversión de carbonato de calcio (CaCO_3) a sulfato de calcio (CaSO_4) y carbonato ácido de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$).

Muchas investigaciones han probado la bondad del uso del ácido sulfúrico (H_2SO_4) como inducción en aplicaciones superficiales (Yahia et al; 1975 y Miyamoto et. al; 1975).

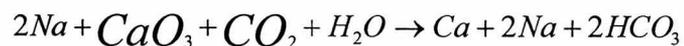
5.9.4. Labranza profunda.

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 restrinjan el movimiento de agua. Si en el subsuelo se encuentra yeso el proceso de recuperación es más eficiente.

5.9.5. 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. ((Chhabra y Abrol 1977)) Una alta presión del CO₂ favorece la solubilización del CaCO₃ a través de la siguiente reacción:



VI. MATERIALES Y METODOS

6.1 Localización.

La Comarca Lagunera esta ubicada en la parte suroeste del estado de Coahuila y noreste del estado de Durango, comprendida entre los meridianos 101° 45' y 105° 01' de longitud oeste y los paralelos 24° y 25° latitud norte con una altitud de 1096 msnm. Comprenden los Municipios de San Pedro de las Colonias, Viesca, Torreón, Matamoros y Fco. I Madero del estado de Coahuila y Gómez Palacio, Tlahualilo, Lerdo y Ciudad Juárez del estado de Durango.

6.2. Localización geográfica del área experimental.

El área de estudios se encuentra ubicada en la pequeña propiedad. El Porvenir Municipio de Francisco I. Madero Coah. Carretera Gómez Palacio Dgo. Con ubicación geográfica entre los 103° 12' 10" de longitud W y 25° 59' 04 de latitud norte con 1500 metros sobre el nivel del mar

6.3. Clima.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Cwpen modificado por García (1973), correspondiente a un BWHW (e) que indica un clima muy seco con lluvia en verano de 5 a 10.2 mm de precipitación pluvial.

6.4. Temperatura.

La temperatura promedio en los últimos 20 años es de 20.3° C, con un máximo de 36.6° C, y de un mínimo de 5.7° C, cada año se presenta un periodo

con posibilidades de heladas de el mes de noviembre hasta el mes de marzo (SARH, 1994).

6.5. Infraestructura.

La pequeña propiedad cuenta con 90 has de las cuales se explotan 70 has con forrajes. Un pozo profundo con un gasto de 43 lps, un sistema de riego con válvulas alfalleras y un estanque con capacidad de 7,200 m,³ y un rebombeo con una capacidad de 120 lps.

6.6. Patrón de cultivo.

Los cultivos que se explotan en el predio en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno son sorgo y triticales, los cuales sirven para alimentar al ganado lechero.

6.7. Características del mejorador químico.

El sulfato de amonio contiene el 21 por ciento de nitrógeno total y amoniacal (NH₄⁺) y 24 por ciento de azufre (S), Su formula química es (NH₄)₂SO₄ posee un peso molecular de 132.14 uma, tiene un color y una forma sólido cristalino blanco a veces con tono ligeramente amarillo y el comportamiento en el suelo de liberar fácilmente amoniaco en presencia de sales alcalinas.

6.8. Preparación del mejorador químico.

El fertilizante se diluyó en 16 tanques con una capacidad de 1,000 litros c/u mediante la inyección de aire por medio de un compresor, después de tener una mezcla homogénea se inyectó a un rebombado de 120 lps, mediante una bomba de pistón con tiempos de riego de 57 minutos en melgas de 20 m de ancho por 120 m de largo.

6.9. Aplicación del mejorador.

La fecha de aplicación del mejorador se realizó en 70 has. En base al riego tal y como se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Aplicación del mejorador por hectárea.

No de aplicaciones	Fecha	Kg.
1	31 de mayo	250
2	25 de julio	300
3	4 de septiembre	300
Total		850

En el primer y segundo muestreo se realizaron dos aplicaciones con 55 días de diferencia, luego a los 41 días se realizó el tercer muestreo. Todas las dosis de aplicación se hicieron en base a un análisis de suelo.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION.

6.1. Capacidad de intercambio cationico (CIC) y por ciento de sodio intercambiable (PSI).

En la Figura 3 se muestra que la capacidad de intercambio cationico en el primer y segundo muestreo se mantuvo constante, mientras que en el tercer muestreo aumentó de 24 a 35 meq/lt. Esto se debe a que al aplicar el sulfato de amonio al suelo y al hacer contacto con el agua, este se disocia y reacciona con el sodio presente en el suelo formando sulfato de sodio. El sodio al reaccionar ya no interactúa con las arcillas del suelo, ocasiona que aumententando las cargas eléctricas en el suelo, lo cual ocasiona un aumento en la capacidad de intercambio cationico y una disminución del por ciento del sodio intercambiable (de 5.8 a 2.6), como se puede apreciar en la figura 2 y 3.

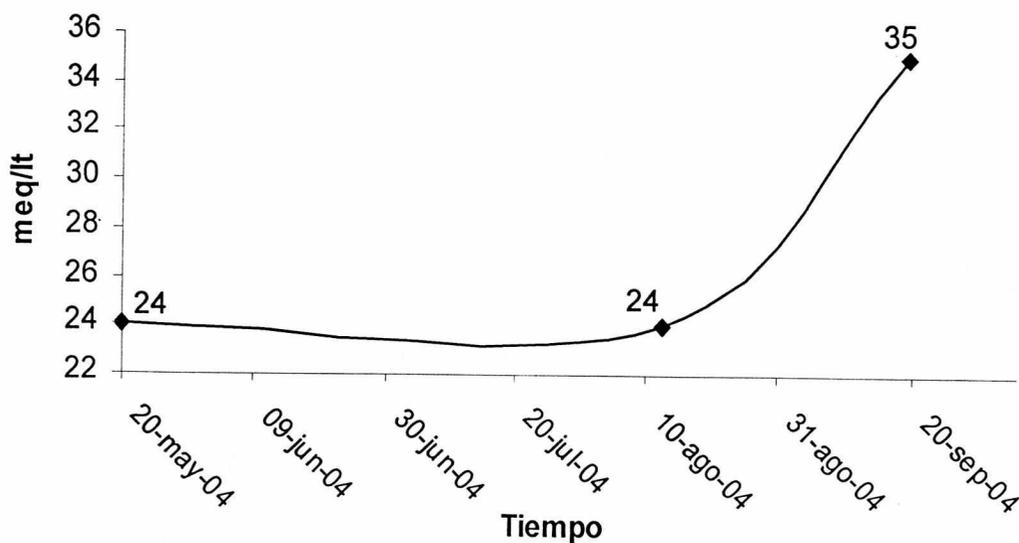


Figura 2. Capacidad de intercambio cationico (CIC)

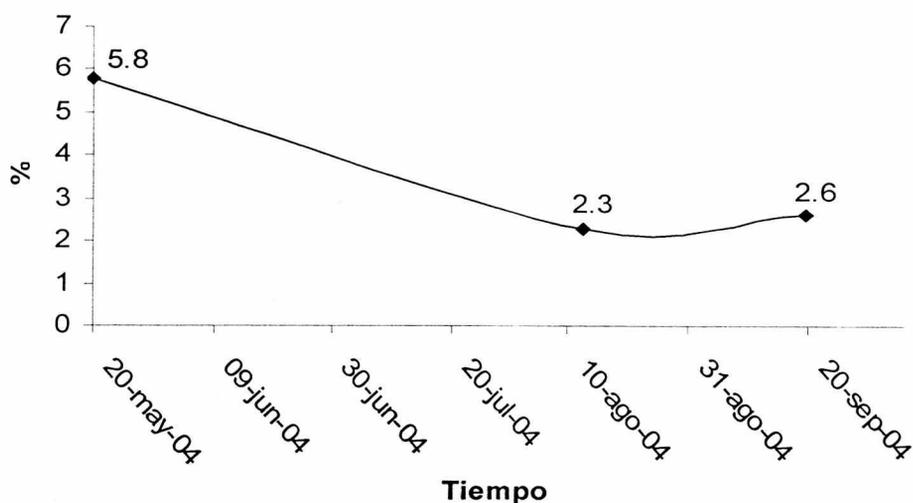


Figura 3. Por ciento de sodio intercambiable (PSI).

6.2. Aniones y cationes.

En el primer muestreo se encontró una concentración de aniones de 11.1 meq/lto, En el segundo muestreo disminuyó a 9.0 meq./lto (Figura 4), y en el tercer muestreo incremento a 9.5 meq/lto. Lo que respecta a los cationes en el primer muestreo se encontraron 10.6, en el segundo y tercer muestreo 9.3 y 11.2 meq/lto respectivamente. En forma general, en el último muestreo observo (cuadro 4) que la suma de cationes es mayor que la suma de aniones, esto es debido al resultado de altas concentraciones de silicatos solubles. En suelos alcalinos como en este caso (ph = 8.3), aumenta la absorción de cationes, aumentando su disponibilidad; y disminuye la de aniones, esto es debido a el hidróxido y al carbonato monoácido estos compiten con los aniones como nitrato, cloruro o fosfato, por sus lugares específicos de absorción. En suelos con pH ácidos esta situación se invierte debido a que el H^+ , compite con los cationes por lugares de

absorción, cuando hay demasiada humedad los aniones se lixivian mas fácilmente. Como se puede apreciar en la figura 4.

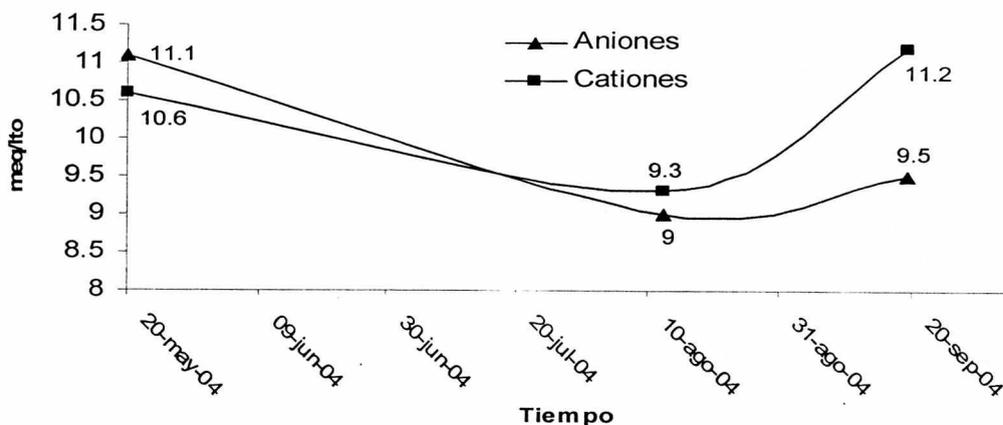


Figura 4. Sumatoria de aniones y cationes.

6.3. Micronutrientes.

Los micronutrientes como Fe, se encontró en 1.3 y 1.8 y su rango optimo fue de 2.5 a 4.5 lo cual quiere decir que no se encontró disponible en cantidades suficientes. El caso del Cu, se encontró en 0.9 y 1.0 y su rango óptimo es de 0.3 y 1.0 lo cual quiere decir que su disponibilidad fue suficiente en el suelo. El Zn se encontró en 0.9 y 1.0 y su rango optimo 0.5 a 1.0 lo cual quiere decir que también se encontró disponible en cantidad suficiente. El Mg se encontró de 2.2 a 3.8 y su rango de óptimo fue de 1.0 a 2.5, esto significa que sobrepaso el rango de disponibilidad. Como se puede apreciar en la figura 4.

Según Lucas en 1970 en pH de 8.5 los micronutrientes se encuentran disponibles, y siempre dependerán también de la temperatura, se ha comprobado

que temperaturas elevadas en el suelo ocasionan una fuerte absorción de micronutrientes.

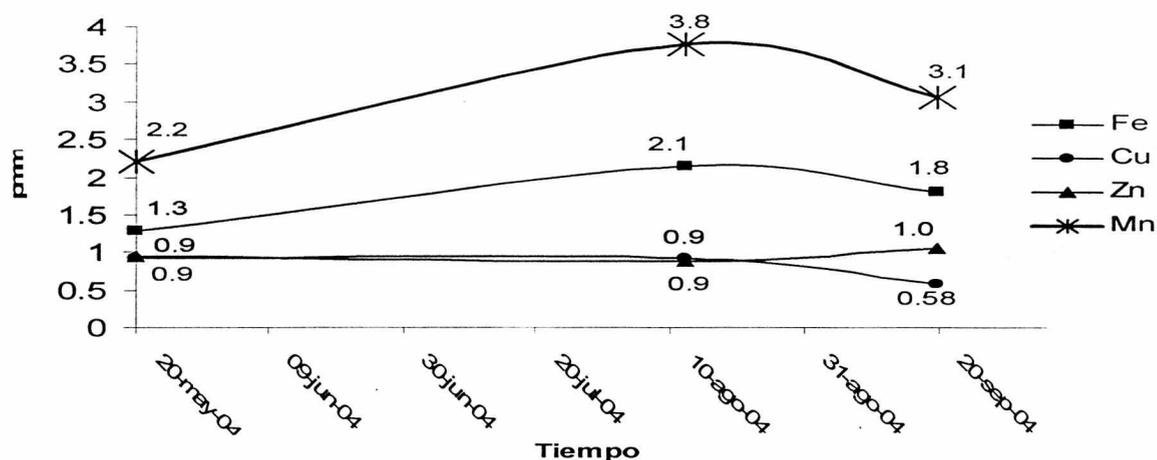


Figura 5.- Micronutrientes.

6.4. Macronutrientes.

En la figura 6 se puede observar los resultados del análisis químico para nitrógeno y fósforo. En el primer muestreo se encontró una concentración de nitrógeno de 13.7 ppm, en el segundo bajó a 13.4 ppm y en el tercero bajó a 8.6 ppm y su concentración óptimo es de 30 ppm, esto indica que el nitrógeno se encuentra muy por debajo de la concentración óptima, debido a que el cultivo del sorgo lo estuvo absorbiendo en grandes cantidades, lo cual se observa en el descenso de la concentración del segundo al tercer muestreo (de 13.4 ppm bajo a 8.6 ppm).

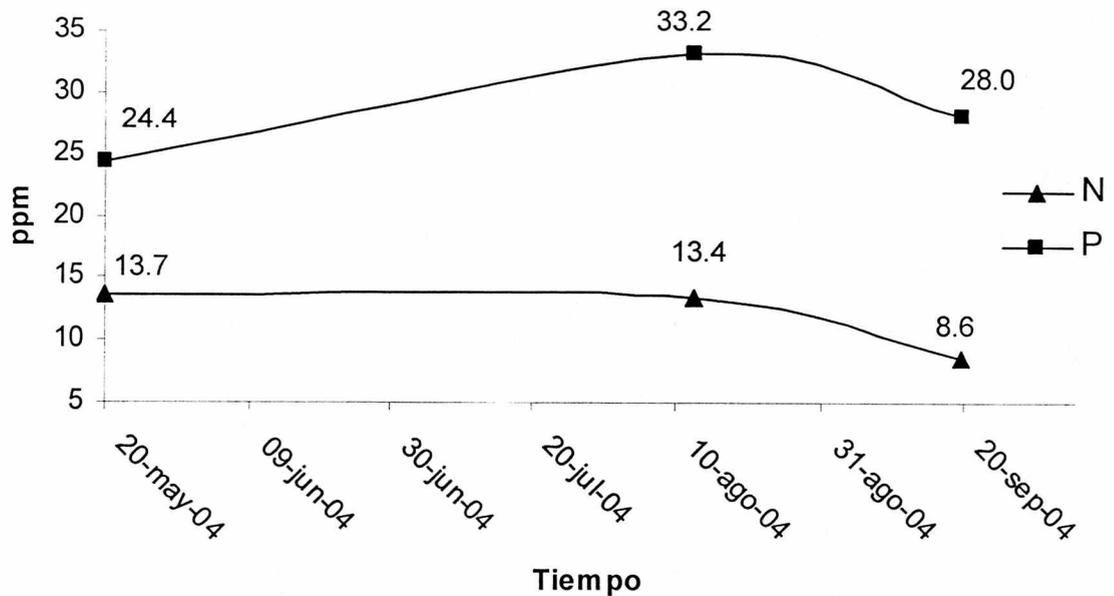


Figura 6 . Concentración de nitrógeno y fósforo.

Por lo que respecta al fósforo en el primer muestreo se encontró en 24.4 ppm, en el segundo incrementó a 33.2 ppm y en el tercero bajó a 28.0 ppm, la cantidad óptima para el fósforo es de 30 ppm. Esto indica que en el primer y tercer muestreo se mantuvo ligeramente por debajo de la cantidad optima. Al comparar el primer muestreo con el segundo se observa un incremento de 8.8 ppm, lo cual indica que al aplicar el mejorador se libero el fósforo en concentraciones adecuadas. Sin embargo, el cultivo fue capaz de absorberlo quedando en 28 ppm.

El potasio en el primer muestreo se encontró en 216.8 ppm, en el segundo bajó a 202 ppm y en el tercero se incrementó a 277.2 ppm (Figura 7), la cantidad optima para el potasio son cantidades mayores de 170 ppm, esto indica que en

todas las aplicaciones estuvo disponible para la planta y no se presentaron problemas de deficiencias.

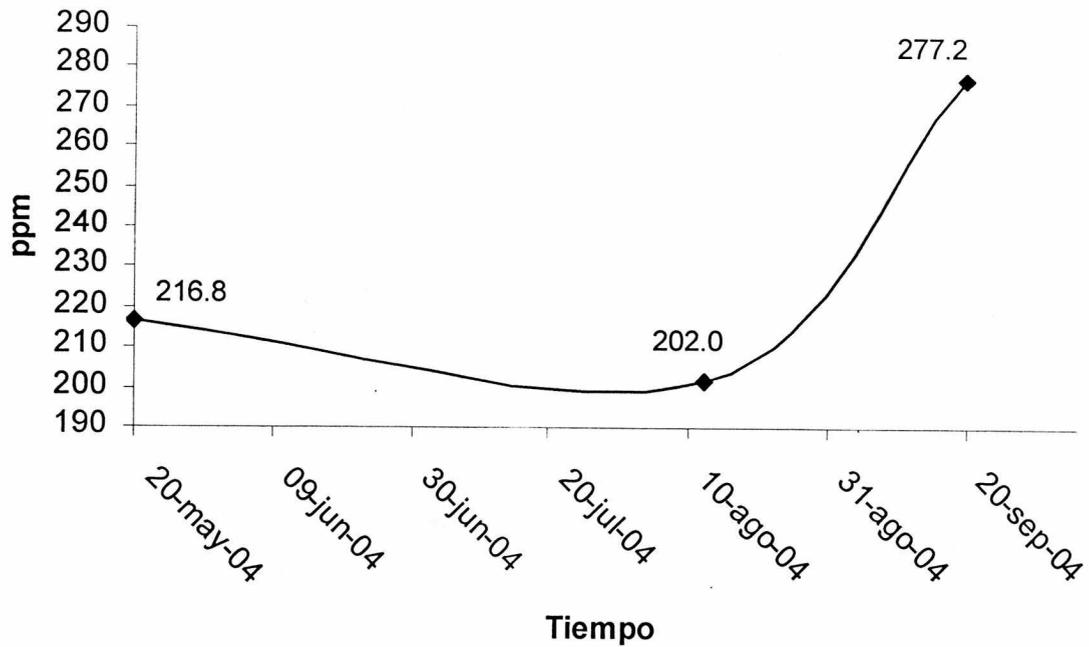


Figura 7. Concentración de potasio.

6.5. Rendimiento

En el cuadro 4 se deben a la residualidad acida del fertilizante y al encapsulamiento del sodio intercambiable a través del ion sulfato que genera una reducción del PSI y salinidad, para facilitar una mayor interacción de los nutrientes del suelo con las arcillas para poder ser fácilmente absorbidos por la raíz del cultivo dando como resultado un mayor rendimiento. Sin embargo cuando se aplica el fertilizante urea la disponibilidad de los nutrientes se reduce debido a que este fertilizante tiene residualidad alcalina y propicia un aumento en salinidad.

Cuadro 4. Costos de agroquímicos y rendimiento del cultivo.

Agroquímicos	Aplicación total (kg/ha)	Costos de fertilización (\$).	Rendimiento (ton/ha) F.V.
Urea (46 - 00 - 00)	700	1,569.00	30
S.A (20.5 - 00 - 00)	850	1,721.00	51

F.V = Forraje verde, S.A = Sulfato de amonio.

6.6 Indicador económico de fertilización.

El Indicador económico "producción de forraje verde por peso de fertilizante aplicado (Kg-fv/\$) para la urea fue de 19.1 y para el sulfato de amonio fue de 29.6 esto indica un aumento en producción de 10.5 kg de materia verde por peso de fertilizante aplicado, esta diferencia en producción indica que son mas rentables la aplicaciones de sulfato de amonio con respecto a las de urea (cuadro 5).

Cuadro 5. Indicador económico de los agroquímicos.

Agroquímicos	Indicador (kg-fv/\$)	Impacto (kg-fv/\$)
Urea (46 - 00 - 00)	19.1	10.5
S.A (20.5 - 00 - 00)	29.6	

F.V = Forraje verde, S.A = Sulfato de amonio.

VII. CONCLUSIONES.

- 1.- Con la aplicación del sulfato de amonio incremento la disponibilidad de los nutrientes y incremento el rendimiento del cultivo.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda usar el sulfato de amonio ya que se obtuvieron mayores rendimientos que con la urea.

IX. ANEXOS

8.1. Cálculos para determinar la cantidad de mejorador necesaria por hectárea

8.1.1. Necesidades del mejorador meq/100 gr de suelo.

Cuadro 1a. Datos de suelo para calculo.

Variable	Concentración
PSli (%)	5.79
PSlf (%)	2
CIC (meq)	24
Da (gr/cm ³)	1.2
Pr (cm)	

$$NM = \left(\frac{PSli - PSlf}{100} \right) * CIC \dots\dots\dots(7)$$

PSli = Por ciento de sodio intercambiable inicial del suelo (%).

PSlf = Por ciento de sodio intercambiable final del suelo (%).

CIC = Capacidad de intercambio cationico del suelo (%).

$$NM = \left(\frac{5.79 - 2}{100} \right) * 24$$

NM = 0.9096 meq / 100 gr de suelo

8.1.2. Peso del suelo a mejorar

$$KgSm = 100,000(Sup)(Pr)(Da) \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

KgSm = Peso del suelo a mejorar (kg).

Sup = Superficie del suelo a mejorar (ha).

Pr = Profundidad del suelo a mejorar (cm).

Da = Densidad aparente del suelo (gr/cm³).

KgSm = 3,600,000 kg.

8.1.3. Miliequivalentes totales necesarios de mejorador por hectárea sin corregir.

$$MeqTM = 10(Nm)(KgSm) \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

MeqTM = Miliequivalentes totales de mejorador por hectárea (meq)

$$MeqTM = 10(0.9096)(3,600,000 \text{ kg})$$

$$MeqTM = 32,745,600$$

8.1.4. Miliequivalentes necesarios totales de mejorador por hectárea corregidos.

$$MeqTMc = MeqTM(Fc) \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

MeqTMc = Miliequivalentes necesarios totales de mejorador por hectárea corregidos.

Fc = Factor de correccion (1.25)

$$MeqTMc = (32,745,600)(1.25)$$

$$MeqTMc = 40,932,000$$

8.1.5. Cantidad de mejorador a utilizar.

$$KgM = \left(\frac{MeqTMc}{MeqToM} \right) \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

KgM = Cantidad del mejorador a utilizar sin corregir (kg).

MeqToM = Cantidad de miliequivalentes por tonelada de

mejorador al 100 por ciento de pureza (cuadro 2a)

Cuadro 2a . Miliequivalentes aportadas por tonelada de mejorador al 100 por ciento de pureza.

Mejoradotes químicos	TE	MeqToM
Azufre (S)	1.0	62.5 x 10 ⁶ meq.
Polisulfuro de cálcio (CaS ₅ 24% S)	4.17	17.4 x 10 ⁶ meq.
Acido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	3.06	20.4 x 10 ⁶ meq.
Yeso (CaSO ₄ 2H ₂ O)	5.38	11.63 x 10 ⁶ meq.
Sulfato ferroso (FeSO ₄ 7H ₂ O)	8.69	7.2 x 10 ⁶ meq.
Sulfato de amônio (NH ₄) ₂ SO ₄	1.07	66.07 x 10 ⁶ meq.

MeqToM = Miliequivalentes aportados,

TE = Toneladas equivalentes a una tonelada de azufre al 100 %.

**8.1.5.1 Kilogramos de mejorador para acido sulfurico al
100 por ciento de pureza**

$$KgM = \left(\frac{40,932,000}{62,500,000} \right)$$

$$KgM = 0.6549 \text{ ton/ha} = 654 \text{ kg/ha.}$$

**8.1.5.2 Kilogramos de mejorador polisulfuro de calcio al
100 por ciento de pureza.**

$$KgM = \left(\frac{40,932,000}{17,400,000} \right)$$

$$KgM = 2.3524 \text{ ton/ha} = 2352 \text{ kg/há}$$

**8.1.5.3. Kilogramos de mejorador acido sulfúrico al 100
por ciento de pureza.**

$$KgM = \left(\frac{40,932,000}{20,400,000} \right)$$

$$KgM = 2.0064 \text{ ton/ha} = 2006 \text{ kg/ha}$$

8.1.5.4. Kilogramos de mejorador yeso al 100 por ciento de pureza.

$$KgM = \left(\frac{40,932,000}{11,630,000} \right)$$

$$KgM = 3.5195 \text{ ton/ha} = 3519 \text{ kg/ha}$$

8.1.5.5. Kilogramos de mejorador sulfato ferroso al 100 por ciento de pureza.

$$KgM = \left(\frac{40,932,000}{7,200,000} \right)$$

$$KgM = 5.6850 \text{ ton/ha} = 5685 \text{ kg/ha}$$

8.1.5.6 Kilogramos de mejorador sulfato de amonio al 100 por ciento de pureza.

$$KgM = \left(\frac{40,932,000}{66,070,000} \right)$$

$$KgM = 0.6195 \text{ ton/ha} = 6,195 \text{ kg/ha}$$

Cuadro 3a. Análisis físico químico del suelo.

Variables	Análisis			Rango optimo
	1er *	2do **	3er ***	
PSI (%)	5.79	2.27	2.61	1-15
Sodio (meq./lto)	6.33	3.67	3.8	
CIC (meq./lto)	24	24	35	25 -50
pH	8.34	8.38	8.38	6.5-7.5
S. aniones (meq/lto)	11.14	8.99	9.48	
S. Cationes (meq/lto)	10.64	9.31	11.16	
C.E (mmhos/cm)	1.09	0.92	0.97	2-8
Bicarbonatos (meq./lto)	3.21	3.55	4.41	
Fierro (ppm)	1.29	2.14	1.8	2.5-4.5
Cobre (ppm)	0.91	0.93	0.58	0.3-1.0
Zinc (ppm)	0.94	0.88	1.04	0.5-1.0
Manganeso (ppm)	2.2	3.76	3.06	1.0-2.5
Nitrógeno (ppm)	136.7	134.3	85.9	> 30.0
Potasio (ppm)	216.8	202	277.2	> 170.0
Fósforo (ppm)	244	332	280	> 30.0

* 20/may/04, ** 3/ago/04, *** 20/sep/04

IX. LITERATURA CITADA

1. Airmedien, P. 1988. La controversia del ozono. Mundo Científico. Nº 79 442-454.
2. Babor, J.A, y J. Ibarz Aznarez. 1963. Química General Moderna. Marín, Barcelona. 1144 p.
3. Bornemisza, E. 1982. Introducción a la Química de Suelos. O.E.A., Washington. 74 p.
4. Brown, P.H., R.M. Welch y E. E. Cary. 1987. Nickel: A micronutrient essential for higher plants. Plant Physiology. 85: 801-803.
5. Buckman, H.O y N.C. Brady. 1977. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Montaner y Simón, S.A., Barcelona. 590 p.

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

<http://edafologia.ugr.es/conta/tema/2/sales.htm>.

<http://edafologia.ugr.es/conta/tema14/secund.htm>

<http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/medida.htm>. Carlos Dorronsoro

<http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/sales.htm>Contaminación por sales solubles

<http://www.fertiberia.com/serviciosonline/analisisdetierra./suelossalinos/recuperacion.html>.

<http://www.mliarium.com/proyectos/suelos/manuales/salinidadsuelos.asp>

<http://www.zoetecnocampo.com./documentos/recuperacion/recuperacion02htm>.

edafologia.ugr.es/conta/tema12/medida.htm - 10k