



**CORRELACION ENTRE LA RELACION DE ADSORCION DE  
SODIO (RAS) DEL AGUA DE RIEGO APLICADA Y EL RAS FINAL  
DE LA SOLUCION DEL SUELO**

**EDUARDO OLIVER MENA RODRIGUEZ**

**ROYCER ALEJANDRO MERCADO VALENCIA**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA**

**SANTA MARTA**

**1998**

M/534c

**CORRELACION ENTRE LA RELACION DE ADSORCION DE  
SODIO (RAS) DEL AGUA DE RIEGO APLICADA Y EL RAS FINAL  
DE LA SOLUCION DEL SUELO**

**EDUARDO OLIVER MENA RODRIGUEZ**

**ROYCER ALEJANDRO MERCADO VALENCIA**

**Trabajo de memoria de grado presentado como requisito parcial para  
optar al título de Ingeniero Agrónomo**

**DIRECTOR  
MAXIMO GALLARDO  
Ingeniero Químico**

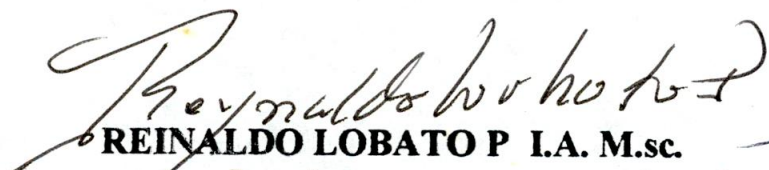
**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA  
SANTA MARTA**

**1998**

IN  
12/23  
00457

024803

Nota de aceptación: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

  
**REINALDO LOBATO P I.A. M.sc.**  
Jurado

  
**ROBERTO ACOSTA T I.A**  
Jurado

  
**MAXIMO GALLARDO I.Q.**  
Director

"Los jurados examinadores de la memoria de grado, no se harán responsables de los conceptos y juicios emitidos por los aspirantes al título"



## CONTENIDO

	Pg
INTRODUCCION	1
1. ANTECEDENTES	3
2. MATERIALES Y METODOS	11
2.1 DESCRIPCION DEL AREA	11
2.1.1 Localización del ensayo	11
2.1.2 Características generales del área	12
2.2 ANALISIS DE SUELO	12
2.3 ANALISIS DE AGUA	12
3. DESARROLLO	13
3.1 TOMA DE MUESTRA	13
3.2 PREPARACION DE LAS SOLUCIONES UTILIZADAS PARA EL HUMEDECIMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO	13

3.3 EXTRACTO DE LA HUMEDAD DE LA SATURACION DEL SUELO	14
3.4 TIEMPO DE EQUILIBRACION	14
3.5 FILTRACION	14
3.6 PARAMETROS ESTUDIADOS	15
3.7 OBTENCION DE LA INFORMACION	15
3.8 DISEÑO METODOLOGICO	16
4. METODO ESTADISTICO	17
5. RESULTADOS Y DISCUSION	18
CONCLUSIONES	21
BIBLIOGRAFIA	22
ANEXOS	25

## LISTA DE TABLAS

	pag
TABLA 1 Características químicas del agua aplicada en cada tratamiento	20
TABLA 2 Análisis del extracto de saturación de cada tratamiento	21

## LISTA DE FIGURAS

	pag
FIGURA 1 Relación del RAS del agua con el RAS de la solución del suelo	21

## LISTA DE ANEXOS

	Pag
ANEXO A Resultado del RAS a y RAS s	26
ANEXO B Resultado de las densidades	27
ANEXO C Calculo de la cantidad de Sodio a aplicar para incrementar el RAS de la solución de acuerdo a cada tratamiento	28

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos a las siguientes personas quienes colaboraron para la realización de este trabajo.

- Maximo Gallardo Mercado, Ing. Químico Msc. Director de memoria de grado.
- Roberto Acosta Torres, I.A. jurado de memoria de grado.
- Reinaldo Lobato, I.A. Msc jurado de memoria de grado.
- José Leonardo Delgado, I.A. Msc decano de la facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Hugo Oswaldo Jiménez S. I.A. Ph.D Vice-Rector de investigación y extensión de la Universidad del Magdalena.
- Anselmo Marin. I.A. Director granja experimental Unimag.
- A todos nuestros compañeros y amigos por su apoyo incondicional: Padilla, Juancho, Jesucristo, Matta, Gonzalo, Samuel, Toño, Carmen, Royber, El quevaz, Luis Carlos, Emiro, Sandiego, Bladimir, Jhon Janner, Edgarito, Alejandro, Victor, Rafael, Ofelía y a todas aquellas personas que de una u otra forma estuvieron en el ají.



## **DEDICATORIA**

Dedico esta obra a:

- Dios por su perfección.
- Mis padres, Ofelia y Argemiro quienes siempre me apoyaron y me brindaron toda su ayuda para que hoy llegara hacer quien soy.
- Mi hermana Elba Rosa y a todos los familiares que siempre estuvieron pendientes de mi.
- A mi, por todo el esfuerzo, dedicación y todos los sacrificios realizados en todo el transcurso de mi vida.

**EDUARDO OLIVER**

## DEDICATORIA

Dedico con toda sinceridad a:

- Dios el guía en la gran travesía hacia la superación.
- Mi vieja querida, Dilia Valencia por sus ingentes esfuerzos, empeño y dedicación en los objetivos propuestos. ¡ se ha cumplido uno más ! ¡ gracias madre mia ! ¡ te quiero !
- Shirley Milena por su apoyo y comprensión en las buenas y en las malas, por brindarme la felicidad con tu llegada y complementada con la llegada de nuestro hijo Jasser Alejandro. Hoy en día ustedes son la razón más fuerte para seguir escalando hacia la cima de la superación.
- Mis hermanos Fraimer, Zayma y Alejandro.
- La memoria de un gran amigo Freddy Luis Castilla C (Q.E.P.D)
- Mi disciplina.

**ROYCER ALEJANDRO**

## RESUMEN

El estudio se realizó en la granja de la Universidad del Magdalena, Municipio de Santa Marta, Departamento del Magdalena. Ubicada a una altura de 13 m.s.n.m. con una precipitación media anual de 700 mm. , una humedad relativa entre el 70 y 72%, temperatura media anual de 28°C y coordenadas geograficas de 74° 07' y 72° 12' de longitud Oeste con el Meridiano de Greenwich y 11° 11' y 11° 14' de latitud Norte con respecto al Ecuador.

El objetivo principal de este trabajo fue el de buscar la relación que existe entre la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) del agua aplicada en el riego y el RAS Resultante de la solución del suelo Receptor.

La muestra inicial de agua se tomo del sistema de riego de la Universidad del Magdalena haciendole el correspondiente análisis químico se determino su valor de RAS, el cual se fue incrementando dos unidades en cada tratamiento por adición de una sal de Sodio (NaCl). En el tratamiento cero (To) se utilizó agua desionizada.

Una vez humedecidas, las muestras de suelo se dejaron equilibrar durante seis horas y luego se procedió a utilizar la extracción del extracto de humedad de saturación del suelo.

El filtrado obtenido se analizó químicamente obteniéndose un valor de RAS de 12.31 para el tratamiento T<sub>0</sub> y de 19.00 para el tratamiento T<sub>9</sub>.

Se dio una correlación lineal entre el RAS del agua y el RAS de la solución del suelo, además se encontró un aumento de dos unidades al valor del RAS del agua aplicada, ocasionó el aumento en una unidad al RAS de la solución del suelo.



## INTRODUCCION

Desde hace mucho tiempo, el hombre se ha preocupado por la calidad del agua que usa para regar sus cultivos. Muchos investigadores realizan ingentes esfuerzos en la búsqueda de soluciones efectivas y además económicas, al problema que pueda generar la aplicación de agua para riego que no consulte la calidad y el impacto que genera en el suelo receptor.

La calidad del agua se había estudiado hasta hace poco, sin tener muy en cuenta al suelo regado con ellas. Investigaciones relativamente recientes proponen el estudio concomitante de la calidad del agua y de la solución del suelo, para buscar un acercamiento a los conocimientos de los fenómenos de interacción química entre los diferentes iones que intervienen en el equilibrio agua - solución del suelo.

Se conoce que el agua para riego, cuando no se maneja adecuadamente, constituye el principal factor de deterioro de los suelos productivos.



Todas las aguas tienen un contenido mayor o menor de sales disueltas y cuando se van a utilizar con fines agrícolas, no basta conocer solo el contenido de ellas, sino que también, es menester analizar su naturaleza, ya que no todas las sales producen los mismos efectos en el suelo o en las plantas.

Con esta investigación, que se enmarca dentro de un proceso más amplio, se pretende iniciar un trabajo que, a la larga, desemboque en una respuesta útil a los interrogantes que plantea el estudio del equilibrio agua - suelo. Es necesario expresar que se imponen algunos límites, tales como: condiciones ambientales controladas, pre - establecer concentraciones por debajo del riego<sup>s</sup> de precipitación, que deben ser suprimidas en futuros trabajos sobre el tema



## 1 ANTECEDENTES

La calidad del agua para riego ha preocupado a la humanidad desde muy temprana edad en la historia, pero debido a los pocos adelantos de la química, solo se tiene la noticia de métodos para clasificar hasta la última mitad del siglo XIX, donde según TOMAS; REVEIL en 1865, PFEFFER en 1887, VRIE en 1884, NELSON en 1889 y muchos otros más, adelantaron trabajos conducentes a ella (13)

Con los adelantos de la química y la fisiología vegetal en la primera mitad del siglo, se han hecho estudios conducentes a proponer una diversidad de métodos para clasificar al agua con fines de riego.

Una vez el agua llega al suelo cambia las características iniciales de equilibrio presentes en su solución. Luego por efecto de la evaporación y la transpiración, aumenta su concentración salina pudiendo presentarse fenómenos con la precipitación de las sales menos solubles, que altera la proporción relativa de ellas. (9)

Si las condiciones de drenaje son deficientes y la velocidad de evaporación superficial es elevada, el suelo tiende a acumular sales solubles en su superficie. Estas condiciones se presentan en los valles de los ríos de las zonas áridas y semiáridas, en las zonas de antiguos lechos de lagos y a lo largo de la costa, en donde la evaporación es intensa y las lluvias escasas. La acumulación de sales puede dar lugar a la formación de un suelo muy alcalino, o a la cantidad de sales neutras suficientes para inhibir el desarrollo de las plantas que presentan un interés económico(1).

El suelo salino presenta un elevado contenido en sales neutras y un pH superior a 7,3 pero inferior a 8,5. Este suelo se conoce generalmente como suelo blanco alcalino, debido a su tendencia a formar costras blancas en la superficie del suelo seco. El exceso de sales (generalmente más del 0,2%) de este suelo salino acostumbra a ser una mezcla de cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de sodio, calcio, magnesio y potasio. La cantidad de sodio generalmente es menor del 15% del total de bases intercambiables del suelo(14).

El efecto de las solubles del agua de riego, se debe a que cuando se aplica es consumida por las plantas y evaporada directamente, la concentración de sales

en la solución del suelo aumenta y el agua va perdiendo energía libre, lo que hace que las plantas gasten más energía en absorber el agua que requieren, provocando una reducción en la transpiración, afectando entonces la productividad del cultivo (10).

Se puede utilizar para riego agua moderadamente salina, a condición de que se aplique en exceso, en cada aplicación, para que haya un buen drenaje, que permita que las sales se lixivien de las zonas de raíces. Esta no es una buena práctica de riego cuando se disponga de agua de buena calidad (17).

Los cationes intercambiables de los coloides del suelo están en equilibrio con los iones de la solución del suelo. Es aparente, por tanto, que al aumentar las proporciones de sodio a los otros cationes en las aguas de riego, la tendencia a la alcalinización del suelo también aumenta (16).

El porcentaje de sodio soluble del agua es un índice de gran importancia, pues de la alta proporción de sodio en el agua de riego resulta una alta proporción de sodio en las soluciones de este y consecuencia de ello y al producirse un nuevo equilibrio un aumento de los iones sodios de cambio (4).

KELLY; BROWN y LIERBG (1940) propusieron que el problema del sodio en las aguas de riego podría determinarse con seguridad tomando como base la relación  $\text{Na}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ , con concentraciones expresadas en equivalentes por millón. Cuando las relaciones exceden de 1, las acumulaciones de sodio tienden a convertirse en problema (15).

En 1948, WILCOX propuso un diagrama para clasificar el agua en cinco clases, basado en la conductividad eléctrica y en los porcentajes de sodio (15).

En 1953, el laboratorio de salinidad de EEUU, propuso la realización de sodio- absorción (RAS) como un criterio más seguro para determinar el peligro del sodio en el agua.

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

Esta relación se basa en las ecuaciones de cambio de cationes del tipo de efecto de masa (GAPAN 1933), y teóricamente al menos, está más



relacionado a los porcentajes de sodio intercambiable que a los simples valores de los porcentajes de sodio (15).

Numerosos estudios han demostrado que la sal contenida en el suelo varía más o menos que la sal contenida en el agua de riego e inversamente con la permeabilidad del suelo. Pero los métodos de riego modifican mucho las relaciones reales. Los efectos del agua sobre los iones intercambiables de los suelos son también previsibles aproximadamente. El sodio es el ion más importante, y la tendencia a ser absorbida al agua de riego esta indicada por la relación sodio absorción (RAS). La propiedad de alterar otros cationes intercambiables se puede predecir con precisión semejante de las relaciones de intercambio de cationes, que han sido examinados por KELLY (1948) (15).

Debido a que el principal efecto perjudicial de las sales es la alta presión osmótica que se desarrolla en la solución del suelo, esta característica debe ser determinada. En los laboratorios de suelo este parámetro se evalúa por la conductividad eléctrica que presenta el extracto de saturación (3).

La medida de la conductividad eléctrica de las aguas naturales o de los extractos obtenidos de los suelos, permite establecer una estimación

aproximadamente cuantitativa de la cantidad de sales que contienen. Los extractos de suelos, particularmente los obtenidos aplicando una elevada relación entre la cantidad de agua y la del suelo tratado, constituyen una medida menos exacta, ya que el tratamiento puede extraer más sales de las que realmente se encuentran presentes en estado de libertad cuando el suelo contiene la humedad propia del campo. Además las especies iónicas extraídas pueden ser diferentes de las que se encuentran presentes en las disoluciones del suelo (7).

El análisis de las sales solubles existentes en los suelos y agua trata de establecer si existen en ellos cantidades suficientes de sales para producir interferencias con la germinación normal de las semillas, con el crecimiento de las plantas o con la toma de agua por parte de ellas mismas (11).

Las sales solubles en el agua, que se presentan en los suelos en cantidades totales superiores al 0,1% están formadas fundamentalmente por los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , enlazados, principalmente, con los aniones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$ , algunas veces al  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{=}$  y en cantidades más limitadas con el  $\text{HCO}_3^-$ . Usualmente el 98% de las sales solubles de los suelos salinas están formadas por estos iones. Los problemas de la salinidad de suelos nacen,



frecuentemente, de los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ , pero rara vez de la presencia de iones  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  ó  $\text{CO}_3^{=}$ . (12)

En suelos salinos el catión sodio ( $\text{Na}^+$ ) es el que predomina en la solución del suelo, mientras que el calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y el ( $\text{Mg}^{++}$ ), debido a su mayor fuerza de adsorción, ocupa la mayor proporción de los iones dentro de la doble capa difusa (forma intercambiable). Hasta que el sodio no represente más de la mitad de los cationes en la solución externa, este catión no pasará a ocupar una proporción importante dentro de la doble capa. Sin embargo, a medida que se concentra la solución del suelo debido a la evapotranspiración, algunas sales de muy baja solubilidad, como  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  y  $\text{CaSO}_4$ , comienzan a precipitar y el calcio y el magnesio de la solución externa, pasa a la interna para retornar el equilibrio, es decir a medida que se va precipitando más magnesio y más calcio, el sodio intercambiable se hace mayor. Este fenómeno se conoce como "riesgo de sodificación" y la expresión que muestra esta relación, se denomina "relación de adsorción de sodio" ó RAS. (6)

La humedad del suelo junto con los sólidos y gases disueltos en ella se considera generalmente como la solución del mismo, algunas veces se habla de solución "interna" y "externa". La solución interna se refiere a la humedad

en contacto interno con las partículas, especialmente las más finas, y en que la concentración y la composición de los solutos esta más o menos en equilibrio con la fase sólida del suelo. Por solución externa se entiende el liquido que se encuentra en los espacios capilares más grandes y que se considera mucho más diluida que el que está en contacto intimo con las partículas. El termino "solución del suelo" se usa a veces para referirse al liquido obtenido del suelo mediante algunos de los métodos de desplazamiento o disolución. (8)

El conocimiento de su composición y comportamiento tiene alguna importancia, puesto que esta solución es la que suministra el agua y alimentos para las raíces de las plantas. Desgraciadamente no existe ningún medio fácil para aislarlo sin alteración del suelo. De suelos muy húmedos se pueden obtener pequeñas cantidades de solución del suelo por presión, pero este método es inapropiado para suelos de moderado o bajo contenido de humedad. Por esto, la mayoría de los métodos empleados se fundan en el desplazamiento de la solución del suelo, por un liquido inerte o, en su lugar, por agua. En los últimos años se ha empleado una variante del método por presión, en el cual el suelo se coloca un filtro apropiado, y la humedad se extrae por aire a presión. (5)

## **2. MATERIALES Y METODOS**

### **2.1 DESCRIPCION DEL AREA**

**2.1.1 Localización del ensayo.** Esta investigación se realiza en la granja experimental de la Universidad de Magdalena, en los meses de Mayo a Octubre, la cual se encuentra ubicada en el D.T.C.H de Santa Marta, Departamento del Magdalena, al norte de Colombia.

La granja limita al norte al norte con el río Manzanares, al sur con la carretera troncal del caribe, por el este con terrenos del Municipio de Santa Marta y por el Oeste con lotes particulares. La granja se encuentra enmarcada dentro de las siguientes coordenadas geográficas.  $74^{\circ} 07'$  y  $72^{\circ} 12'$  de longitud Oeste con el Meridiano de Greewich y  $11^{\circ} 11'$  y  $11^{\circ} 14'$  de latitud Norte con respecto al Ecuador.



**2.1.2 Características generales del área.** El área presenta un relieve plano y una altura sobre el nivel del mar de 13m, una temperatura medio anual de 28°C y humedad relativa media anual entre 70° % y 72%. El clima de la zona se ha clasificado como hústico, una vegetación xerofítica y con un sistema de bosque espinoso tropical.

La zona presenta dos períodos de lluvia, de abril - julio en el primer semestre y de septiembre - octubre en el segundo semestre, siendo la precipitación media anual de 700 mm.

**2.2 Análisis de los suelos.** El análisis correspondientes alas características químicas y físicas iniciales del suelo se hicieron en los laboratorios de suelos y Química de la Universidad del Magdalena.

**2.3 Análisis del agua.** El análisis correspondiente a las características químicas del agua utilizada para la preparación de las diferentes soluciones se hizo en el laboratorio de Química de la Universidad del Magdalena.

### 3. DESARROLLO

**3.1 Toma de muestras.** Estas se tomaron en el campo en predios de la granja de la Universidad del Magdalena, dichas muestras se tomaron en sitios en donde hay problemas de salinidad. Se tomo una muestra de 30kg de suelo, se homogenizo y se dividió en submuestras de 1kg, se empacaron en bolsas plásticas, se rotularon y se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad del Magdalena.

**3.2 Preparación de las soluciones utilizadas para el humedecimiento de las muestras de suelo.** Estas se prepararon en el laboratorio de química de la Universidad del Magdalena, los cuales se prepararon de acuerdo a cada tratamiento. Se tomo como patrón agua normal de riego, proveniente de una fuente subterránea (pozo profundo de la Universidad del Magdalena) a la cual se le fue incrementando su valor de RAS en dos unidades de acuerdo a cada tratamiento, por adición de una sal de sodio en cantidad equivalente a  $2\sqrt{(Ca+Mg)/2}$  expresado en Meq/l.

**3.3 Extracto de la humedad de la saturación del suelo.** Se introdujo en un vaso 1kg de suelo y luego se le fue agregando la solución (esto se hizo para cada tratamiento) hasta que toda la masa quedo humedecida por capilaridad. El contenido de la solución fue el correcto cuando el suelo no fluye apenas, para llenar un hoyo practicado con la espátula, fluyendo la mezcla de la espátula y estando la superficie lo suficientemente húmeda para brillar.

**3.4 Tiempo de equilibración.** Se dejo que el suelo saturado de humedad se equilibra durante seis horas, con el fin de que alcanzara el equilibrio correspondiente al canje ionico, pero no durante más tiempo, con el fin de evitar los cambios de composición como consecuencias de la actividad bacteriana.

**3.5 Filtración.** Se colocó el suelo encima de un embudo buchner de tamaño adecuado, sobre el cual se colocó un papel filtro, bien adherido y se separo el "extracto de saturación" por succión.



Una vez obtenido el filtrado, el extracto de la solución del suelo se analizó en el laboratorio y se obtuvieron los resultados de los parámetros evaluados.

**3.6 Parámetros estudiados.** La variable que se tuvo en cuenta en presente investigación fue el RAS del agua de riego, a la cual se le fue incrementando dicho valor dos unidades cada vez, de acuerdo a cada tratamiento.

**3.7 Obtención de la información.** Para obtener la información las muestras se analizaron una vez obtenido el extracto de la solución del suelo correspondiente a cada tratamiento. (Esto es seis horas después que la muestra del suelo se sometió a humedecimiento).

Se realizaron las siguientes mediciones:

A los extractos de la solución del suelo de cada tratamiento se le evaluó su RAS, pH, CE, y contenido de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Previamente se le hizo las mismas evaluaciones al agua de riego y al extracto de la solución inicial del suelo.

**3.8 Diseño Metodológico.** En la presente investigación se utilizó distribución completamente al azar, con los tratamientos incluyendo al testigo y tres, replicas para un total de 30 unidades experimentales.

#### **4. MÉTODO ESTADÍSTICO**

Una vez obtenido los datos correspondientes a cada tratamiento, se procedió a hacer una correlación simple enfrentando los valores del "RAS" de las soluciones iniciales y los valores finales del RAS de los extractos de la solución del suelo de cada tratamiento.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los análisis, tanto del agua como de los extractos de saturación, se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente.

Se observa que los valores de pH permanecieron, prácticamente, constantes y un poco cercanos a la neutralidad, siendo los del extractos de saturación ligeramente alcalinos. Estos es explicable, puesto que al agua a aplicar en cada tratamiento se le agrego, para incrementar la concentración de iones Na, cloruro de sodio que es una sal neutra.

Con respecto a los aniones Cl<sup>-</sup>, los correspondientes valores de las concentraciones se fueron incrementando en una cantidad equivalente al sodio adicionado, esto se debe a que todo el Cl<sup>-</sup> se encuentra en la solución del suelo, lo que está de acuerdo con lo expresado por Bear (citado por Garavito) "a pH neutro la retención de aniones Cl<sup>-</sup> es muy débil o nula".

Los cationes  $\text{Na}^+$  y  $(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  son los directamente implicados en el cálculo del RAS, y a diferencia del  $\text{Cl}^-$ , los valores encontrados para  $\text{Na}^+$  en cada tratamiento no corresponde a la suma de los valores inicial más el agregado, se observa que las concentraciones encontradas son un poco menores. Para  $(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  los valores resultaron ser un tanto mayores. Lo anterior esta de conformidad con lo reportado por Kally (citado por Garavito) quien encontró que el grado de reemplazamiento de  $(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  por  $\text{Na}^+$  que pasan de la solución al complejo de cambio son iguales a los  $(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  que salen de éste hacia la solución para restablecer el equilibrio.

Con relación a la C.E su valor fue aumentado, como se esperaba, ya que se estaba agregando un electrolito.

El tratamiento  $T_0$ , se aparta del comportamiento del resto de los tratamientos, lo que puede explicarse por la fuerte tensión que ocasiona en el equilibrio inicial la adición de sales solubles.

Como se ve en la figura 1 se dió una correlación lineal entre el RAS del agua y RAS de la solución del suelo, además se encontró que un aumento de 2



unidades en el valor del RAS del agua aplicada, ocasiona el aumento en una unidad del RAS de la solución del suelo, esto ultimo se explica por el incremento del catión  $\text{Na}^+$  en el complejo de cambio lo que ocasiona un aumento en el PSI, y como se conoce son valores directamente proporcionales. La explicación del porqué al aplicar dos unidades en el valor del RAS del agua aplicada ocasiona el aumento en una unidad del RAS de la solución del suelo es porque parte de los cationes de sodio son retenidos por el complejo de cambio, lo cual no permite que todo el sodio pase a la solución del suelo, no sucediendo así con el anión cloro, el cual puede pasar todo a la solución del suelo.

## CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos, en cuanto a los valores y comportamiento de los diferentes iones que participan en el equilibrio entre la solución del suelo y el complejo de cambio, concuerdan por lo establecido por los investigadores que citan la bibliografía consultada.

2. El RAS a del agua aplicad se relaciona con el RAS s de la solución del suelo receptor, tratamiento 1 al 9, por la expresión:

$$\text{RASa} = 0.475 \text{ RASs} + 10.733$$

La cual es la ecuación de una línea recta . Esta ecuación no es de aplicación general si no para el tipo de suelo y condiciones restringidas de este trabajo.

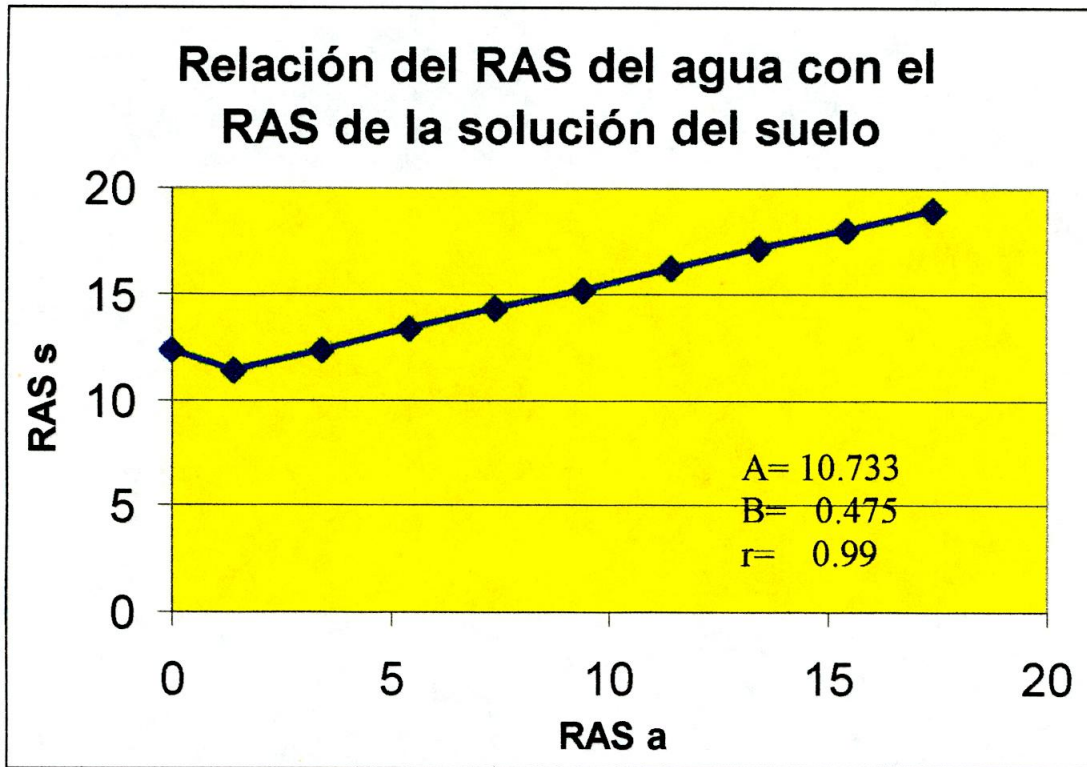


FIGURA 1: Relación del RAS del agua con el RAS de la solución del suelo.

**TABLA No 1**

**CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA APLICADA EN CADA TRATAMIENTO**

TRATAMIE	pH	Ca + Mg	Na+	K+	Cl-	SO4=	HCO3	CO3	C.E	RAS
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	7.20	5.56	2.36	0.45	3.8	0.62	4.1	0	.693	1.415
2	7.20	5.56	5.68	0.45	7.12	0.62	4.1	0	0.974	3.415
3	7.20	5.56	9.00	0.45	10.44	0.62	4.1	0	1.262	5.415
4	7.20	5.56	12.32	0.45	13.76	0.62	4.1	0	1.538	7.415
5	7.20	5.56	15.64	0.45	17.00	0.62	4.1	0	1.810	9.415
6	7.20	5.56	19.00	0.45	20.46	0.62	4.1	0	2.100	11.415
7	7.20	5.56	22.28	0.45	23.70	0.62	4.1	0	2.365	13.415
8	7.20	5.56	25.60	0.45	27.04	0.62	4.1	0	2.645	15.415
9	7.20	5.56	28.92	0.45	29.36	0.62	4.1	0	2.838	17.415

Iones en meq/L

C.E en mmhos/cm.

**TABLA N° 2**

**ANALISIS DEL EXTRACTO DE SATURACION DE CADA TRATAMIENTO**

<b>TRATAMIE</b>	<b>Ca + Mg</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Cl</b>	<b>SO4</b>	<b>HCO3</b>	<b>CO3</b>	<b>C.E</b>	<b>RAS</b>	<b>pH</b>
0	17.5	36.44	9.31	60.3	0.61	0.40	0	5.11	12.31	7.8
1	23.07	38.73	9.76	64.1	1.21	4.5	0	5.81	11.40	7.7
2	23.14	41.93	9.76	67.4	1.21	4.5	0	6.09	12.32	7.8
3	23.21	45.43	9.76	70.7	1.21	4.5	0	6.36	13.34	7.6
4	23.28	48.73	9.76	74.0	1.21	4.5	0	6.64	14.28	7.8
5	23.35	51.93	9.76	77.3	1.21	4.5	0	6.90	15.19	7.8
6	23.42	55.37	9.76	80.7	1.21	4.5	0	7.20	16.18	7.7
7	23.49	58.65	9.76	84.0	1.21	4.5	0	7.48	17.11	7.8
8	23.63	61.41	9.76	87.3	1.21	4.5	0	7.75	18.05	7.6
9	23.70	64.29	9.76	89.7	1.21	4.5	0	7.95	19.00	7.7

Iones en meq/L

C.E en mmhos/cm.



## BIBLIOGRAFIA

1. BUCKMAN. Harry. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Montaner y Simón S.A. Barcelona. 590 pg.
2. DAVIES L. Owen. Métodos estadísticos. Editorial Aguilar. Madrid 1960. Pg 207 - 212, 394.
3. DEMOLON. A. Dinámica del suelo. Ediciones Omega S.A Barcelona. 5ª edición. 527 Pg.
4. GRANDE. Ricardo. Los suelos salinos. Publicación del ministerio de Agricultura, Dirección General de coordinación, Crédito y Capacitación Agraria, Madrid 1956.
5. HALL. A. D. Estudio científico del suelo. Una introducción al estudio de las cosechas. Editorial Aguilar. Madrid. 5ª edición. 312 pg.
6. INSTITUTO COLOMBIANO AGUSTIN CODAZZI. Propiedades químicas de los suelos. Bogotá 1979.
7. JACKSON. M.L. Análisis Químico de los Suelos. Editorial,. Omega, Barcelona 1964.

8. MILLAR. C.E. Fertilidad del suelo. Salvat Editores, S.A. Barcelona (Madrid). 1ª edición. 477 pg.
9. NALCO CHEMICAL COMPANY. Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Editorial Mc Graw - HILL. Pp 42 - 1 a 42 - 9.
10. ORSON. W. Israeisen. Y HANSEN, vaughn. Principios y Aplicaciones del riego. 2ª Ed. México. Editorial Reverte S.A 1965.
11. PIZARRO. F Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editorial Agrícola Española. Madrid 1978, pp 110-139.
12. \_\_\_\_\_ Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. Edinoms mudiprensa. Madrid 1986. Pp 135-138.
13. SUAREZ. J.G Calidad del agua para riego. En Manual de riego y Drenaje. Programa Manejo de Aguas. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Bogotá. Pp 1-48.
14. THOMPSON, Levis. El suelo y su fertilidad. Editorial Reverte S.A. 3ª Edición. 407 pg.
15. THORNE. DW. Y PETERSON. H.B. Fertilidad y explotación de los suelos. 2ª edición. Compañía Editorial Continental S.A. México. Pp 496.

16. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Facultad de Ciencias Agropecuaria. Curso sobre actualización de sistemas de riego. Medellín 1989. p 346.
17. WINTER. E.J. El agua, el suelo y la planta. Editorial Diana. México. 3ª edición. 1981. 221 P.

# **ANEXOS**

**RESULTADOS DE RAS a Y RAS s**

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>RAS AGUA INICIAL</b>	<b>RAS SOLUCION FINAL DEL SUELO</b>
T0	0	12,31
T1	1,415	11,40
T2	3,415	12,32
T3	5,415	13,34
T4	7,415	14,28
T5	9,415	15,19
T6	11,415	16,18
T7	13,415	17,11
T8	15,415	18,05
T9	17,415	19,00



**RESULTADOS DE LAS DENSIDADES**

Densidad Real: 2.15 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Aparente Inicial: 1.2gr/cm<sup>3</sup>

Textura: Areno - Arcilloso

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>DENSIDAD APARENTE FINAL Gramo/cm<sup>3</sup></b>
To	1.20
T1	1.21
T2	1.21
T3	1.21
T4	1.23
T5	1.22
T6	1.21
T7	1.20
T8	1.20
T9	1.20

**CALCULO DE LA CANTIDAD DE SODIO A APLICAR PARA  
INCREMENTAR EL RAS DE LA SOLUCION DEACUERDO A CADA  
TRATAMINETO.**

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

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

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

de donde tenemos:

para aumentar el RAS de la solución (de cada tratamiento) en dos unidades, es necesario aplicar una cantidad de sodio equivalente a :

$$2\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}$$



Por tanto:

$$\text{RAS Agua Inicial} = \frac{2,36}{2} = 1,18 \quad \text{y de acuerdo}$$

$$2\sqrt{\frac{5,569}{2}}$$

a la ecuación anterior se necesitaria aplicar una cantidad de sodio igual a

$$2\sqrt{\frac{5,569}{2}} = 3,338 \text{ meq/L para incrementar su RAS en dos unidades.}$$

Como el Sodio se aplicara en forma de NaCl entonces se necesitaria aplicar una cantidad de NaCl igual a:

$$3,338 \text{ meq/L} \times 58 \text{ (P.E. NaCl)} = 193.6 \text{ mg/L de NaCl.}$$