

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO DE LA ZONA "EL
SAHUARAL", COSTA DE HERMOSILLO

TESIS

Sometida a la consideración de la
Escuela de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

por

Emilio Jimenez García

Como requisito parcial para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo.

Noviembre de 1971.

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



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

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
LITERATURA REVISADA.....	4
MATERIAL Y METODOS.....	29
RESULTADOS.....	34
DISCUSION.....	41
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFIA.....	50
APENDICE.....	53

INDICE DE CUADROS, FIGURAS, TABLAS Y PLANOS

	Pág.
Cuadro 1. Cantidad de sal agregada al suelo anualmente por aplicaciones de agua de varias concentraciones de sal, en una lámina de 90 cm. por hectárea.....	10
Cuadro 2. Límites tolerables de boro para varias clases de agua de riego.....	20
Cuadro 3. Clasificación de agua de irrigación sugerida por Scofield y porcentaje de pozos muestreados correspondientes a cada clase.....	34
Cuadro 4. Clasificación de aguas de irrigación sugeridas por Wilcox, considerando el número y porcentaje de pozos correspondientes a cada clase.....	35
Cuadro 5. Clasificación de la zona de irrigación con relación al diagrama propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, considerando el número y porcentaje de pozos muestreados correspondientes a cada clase.....	37
Cuadro 6. Clasificación de aguas tomando como base la Relación de Adsorción de Sodio. Considerando el número y porcentaje de pozos correspondientes a cada grupo.....	38
Cuadro 7. Clasificación de aguas en base al contenido de sodio residual.....	39
Figura 1. Diagrama para clasificación de las aguas para riego.....	54
Tabla 1. Resultados de los análisis de las muestras de agua de los diferentes pozos de la Zona del Sahuaral, Costa de Hermosillo.....	55
Plano 1. Plano general de la zona de "El Sahuaral", Costa de Hermosillo y distribución de los pozos.....	57

INTRODUCCION

Una agricultura permanente en regiones de condiciones climáticas, áridas y semiáridas, depende de un control adecuado de las sales de los suelos y de un buen manejo del agua de riego. La salinidad de los suelos es un problema que en los últimos años ha llegado a ocupar un lugar muy especial en la agricultura irrigada de todos los Países. En México, los Estados de Sinaloa, Sonora y Baja California, presentan muy serios problemas de salinidad que en ocasiones han llegado a crear verdaderos conflictos internacionales.

Las aguas de riego ya se derivan de corrientes superficiales o se extraigan de pozos profundos, llevan en solución ciertas sustancias químicas que han sido disueltas de las rocas o suelos por donde han pasado. La concentración y naturaleza de estas sustancias determinan la calidad del agua desde el punto de vista de su empleo para riego. Un análisis químico de un agua para riego permite identificar y cuantificar, cada una de las sustancias más importantes que llevan en solución. Dicho análisis permite clasificar el agua en relación con la posibilidad de empleo para riego, y proveer con cierta exactitud los efectos que tendría el agua sobre el suelo y las plantas cultivadas.

La concentración de las sales en el agua de riego es uno de los factores principales que contribuyen a la

acumulación de cantidades indeseables de estas sustancias en los suelos, por lo tanto, la calidad del agua es de una consideración básica para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en cualquier zona de riego.

Los estudios de calidad de agua se hacen indispensables en aquellas regiones que por sus características (clima, localización, suelo etc.), presentan un medio favorable para la acumulación de sales. La región de la Costa de Hermosillo y principalmente la Zona del Sahuaral, por su proximidad al oceano presenta serios problemas de salinidad que en ocasiones ha motivado el abandono de las tierras. Se ha llegado a estimar que la extensión afectada en la Costa de Hermosillo, ha alcanzado entre 15,000 a 20,000 Has., las cuales unidas a las de los Valles del Mayo, Yaqui y San Luis Río Colorado, sobrepasan las 100,000 Has., en el Estado de Sonora.*

El problema de salinidad en Sonora, es de gran importancia ya que su economía se basa principalmente en la agricultura. Por lo tanto, hay que tratar de proteger la subsistencia de áreas como la nuestra de agricultura irrigada, climas desérticos y bajas precipitaciones, tomando para ello todas las precauciones que se hagan necesarias. El número de hectáreas ha ido en aumento en los últimos años debido a la reducción del agua en los

* Datos obtenidos de un boletín preparado por el Ing. Ramón Huerta Moreno en la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. 1965.

mantos acuíferos, y éste hace necesario utilizar toda el agua aprovechable, sin tomar en cuenta su calidad, lo cual ha ocasionado una reducción considerable de la producción agrícola de algunas regiones.

Debido a lo anterior, se planeó este estudio cuyo objetivo principal consistió en analizar muestras de agua de cada uno de los pozos existentes en la actualidad en la Zona del Sahuaral, Costa de Hermosillo; clasificarlas de acuerdo con sus características y dictar medidas necesarias para un mejor manejo del agua de riego; con el fin de evitar que el problema de sales en el suelo llegue a afectar una mayor área y como consecuencia una reducción en la producción agrícola.

LITERATURA REVISADA

Todas las aguas de fuentes superficiales y subterráneas contienen sustancias disueltas conocidas químicamente como sales (10). El contenido de sales de la mayor parte de las aguas para riego varía de 0.2 a 12.3 toneladas de sal por hectárea en una lámina de 20 cm. de agua (70-3500 ppm de sales), por lo tanto, el conocimiento de la calidad del agua es de extrema importancia ya que tendrá gran influencia en las prácticas de riego y drenaje, en la selección de los cultivos y hasta cierto grado en otras prácticas de explotación del suelo (1).

El origen de la acumulación de sal en el suelo es generalmente por el agua de riego; en algunos casos el suelo pudo haber tenido sales en el estado virgen o la acumulación pudo haber resultado de un manto freático elevado, lo que trae como consecuencia la evaporación de gran cantidad de agua en la superficie y las sales que quedan después de la evaporación del agua se concentran en las zonas superficiales del suelo (10, 16).

Los datos obtenidos en Pakistán demuestran que el aumento de sales ha sido constante en las áreas en las que el nivel freático se encuentra a menos de 3 metros de profundidad (16).

Una de las principales fuentes de sal en el suelo son los minerales de rocas expuestas de la corteza terrestre, debido a los procesos de intemperización quími-

ca (hidrólisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación) que libera los compuestos de sales a las aguas que las cubre y son arrastradas por las corrientes superficiales y depositadas en la superficie del suelo (1).

El océano puede ser una fuente de sales, en caso de que los depósitos marinos se hayan elevado y el drenaje de los mismos afecte posteriormente a las fuentes de agua para riego o también puede ser una fuente de sales las llamadas sales ciclicas a lo largo de la costa, debido a aspersiones transportadas por el viento (1). El contenido de sales en los océanos es alrededor de 3% (98.8 toneladas de sal por hectárea en una lámina de 30 cm. de agua. Las aguas corrientes de la montaña generalmente contienen menos de 2.4 a 24 toneladas de sal por hectárea en una lámina de 30 cm. de agua; las aguas de drenes y aguas de zonas desérticas contienen de 24 a 37 toneladas de sal por hectárea en una lámina de 30 cm. (10).

Las aguas subterráneas con frecuencia varían grandemente en el contenido total de sales dependiendo de su localización, aún dentro de una misma área general y de la profundidad de los mantos acuíferos (10).

Análisis de muchos pozos en el Valle de Coachella, California, indicaron un rango en la concentración de sales solubles de 130 - 8,500 ppm.. Dos de los pozos de 174 y 56 metros de profundidad y separados 800 metros

uno de otro, reportaron concentraciones de sal de 400 y 8,500 ppm. respectivamente (2, 11).

Feth y otros (1965) mostraron que en mas de dos terceras partes del continente de los Estados Unidos los acuíferos son poco profundos pero contienen mas de 1,000 ppm. de solidos disueltos (14).

Miles de sales son las que se conocen, pero las sales mas comunes en el agua de riego son: sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), Sulfato de Magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), Sulfato de Sodio ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$), Bicarbonato de Sodio (NaHCO_3), y Cloruro de Sodio (NaCl).

Por lo regular las aguas difieren grandemente en la clase de sal presente, algunas aguas son relativamente altas en sales de sodio, mientras que otras son altas en sales de calcio o magnesio. La proporción relativa de las diferentes sales en el agua de riego es de importancia considerable (10).

Como las sales pierden su identidad cuando se disuelve en el agua, separándose en iones, es necesario recortar los análisis en términos de iones en lugar de términos de sales. Los principales iones presentes en el agua de irrigación son los aniones Bicarbonato (HCO_3), Sulfatos (SO_4) y Cloruros (Cl), otros iones pueden estar presentes, como: Potasio (K), Carbonatos (CO_3), Nitratos (NO_3), Silicio (Si), Fierro (Fe) y Boro (B), pero éstos últimos por lo regular se presentan en bajas concentra-

ciones. Ocasionalmente las aguas pueden ser altas en Bi carbonatos y frecuentemente bajas en Nitratos. En aguas de concentraciones bajas en total de sales, los Bicarbonatos frecuentemente exceden de la combinación de contenido de Sulfato y Cloro; pero aguas de río con contenido alto en sales como los ríos (Arkansas, Colorado, Gila, Pecos y Río Grande), predominan las sales de Sulfato y Cloro (11).

Las aguas para riego son clasificadas en base a los constituyentes mas importantes en solución, con ésto los efectos de las aguas sobre los cultivos y suelo se pueden predecir con seguridad (11).

De acuerdo con Wilcox, el criterio principal para determinar la calidad de agua para riego, es en base:

1. A la concentración total de sales solubles o peligro de salinidad;
2. Concentración relativa de Sodio con respecto a otros cationes;
3. La concentración de Boro u otros constituyentes que pueden ser tóxicos;
4. Bajo ciertas condiciones la concentración de Bicarbonato con relación a la concentración de Calcio mas Magnesio (2, 6, 10, 11).

Probablemente el criterio mas importante respecto a la calidad del agua para riego es la concentración total de sales (1).

Debido a la seguridad y a la facilidad de las determinaciones la Conductividad Eléctrica en Micromhos/cm.

a 25° C. ha llegado a ser el procedimiento normal para la determinación de la sal total de las aguas de riego (3). Aunque la Conductividad Eléctrica es aceptada generalmente como patrón de la medida de la calidad del agua, ha habido mucha variación en los valores de la conductancia que deben definir las diferentes clases de agua. El Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos reunió análisis de numerosas aguas de riego y encontró que de todas las aguas examinadas, el 9% tenían conductividades menores de 250 Micromhos/cm. a 25° C., 48% tenían conductividades entre 250 y 750, el 33% estaba entre 750 y 2,250, y el 10% tenía conductividades entre 2,250 y 5,000 Micromhos/cm. a 25° C., tomaron estas variaciones de conductividad para clasificar las aguas de acuerdo con su concentración de sal (17).

Al clasificar las aguas para riego, se supone que van a usarse bajo condiciones medias con respecto a la textura del suelo, velocidad de infiltración, drenaje, la cantidad de agua usada, clima y tolerancia de los cultivos a las sales. Las desviaciones considerables del valor medio de cualquiera de estas variables, pueden hacer inseguro el uso de una agua como buena cuando bajo condiciones medias sería de muy buena calidad o al contrario, puede inducir a considerar una agua como buena cuando bajo condiciones medias sería de dudosa calidad. Esto debe tenerse muy en cuenta cuando se trata de clasi

car las aguas para riego (2).

Wilcox (1948) dió a conocer un diagrama de clasificación para aguas de riego, basado en la Conductividad Eléctrica en Micromhos/cm. a 25° C., el cual dividió en 4 clases: 1. Baja salinidad de 100 a 250 Micromhos/cm.; 2. Mediana salinidad de 250 a 750 Micromhos/cm.; 3. Alta salinidad de 750 a 2,250 Micromhos/cm.; 4. Muy alta salinidad de 2,250 a 5,000 Micromhos/cm.. Esta clasificación incluye aguas que pueden utilizarse para riego en la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, y aguas que bajo condiciones normales no son apropiadas para riego (1, 2).

Casi todas las aguas para riego que se han usado por mucho tiempo tienen Conductividad Eléctrica menor de 2,250 Micromhos/cm.. Ocasionalmente se usan aguas de mayor conductividad, pero las cosechas obtenidas no han sido satisfactorias.

El grupo que tiene menos de 250 Micromhos/cm. se considera completamente seguro; el segundo grupo se considera seguro practicamente bajo todas las condiciones; el tercer grupo se considera seguro solamente en los suelos permeables y con moderado lavado; el cuarto grupo, las aguas con mayor de 2,250 Micromhos/cm. son en general inadecuadas para riegos (17). El empleo de este tipo de agua es una excepción que rara vez se obtienen buenos resultados, unicamente cultivos tolerantes a las sales pueden desarrollar bien cuando se riegan con este ti

po de agua siempre y cuando se aplique agua en abundancia y el drenaje del subsuelo sea adecuado (2).

Grandes cantidades de sal pueden ser agregados al suelo cada año por el agua de riego, cuando se usan aguas de alta salinidad como puede observarse en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Cantidad de sal agregada al suelo anualmente por aplicaciones de agua de varias concentraciones de sal, en una lámina de 90 cm. por hectárea.

Concentración de sal en ppm.	Toneladas de Sal agregada al Suelo					
	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año	6 Año
250	2.25	4.50	6.75	9.00	11.25	13.50
500	4.50	9.00	13.50	18.00	22.50	27.00
1000	9.00	18.00	27.00	36.00	45.00	54.00
1500	13.50	27.00	40.50	54.00	67.50	81.00
2000	18.00	36.00	54.00	72.00	90.00	108.00
2500	22.50	45.00	67.50	90.00	112.50	135.00

A medida que la concentración de sal del agua de riego aumenta, la aplicación de sal aumenta rápidamente. Así, con el uso de agua que contiene 2,500 ppm. de sal y aplicada por hectárea en una lámina de 90 cm. resulta una aplicación acumulativa de 22.50, 45.00, 67.50, 90.00, 112.50 y 135.00 toneladas de sal por un período de 6 años. Con cada agua, bastante sal es agregada al suelo cada año aproximadamente el 0.4% del peso del suelo a una profundidad de 45.7 cm.. Esta es bastante sal para crear

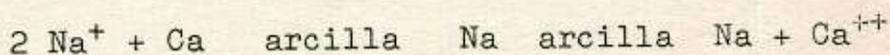
problemas severos de salinidad, e inhibición de la germinación de muchas semillas (10).

Thorne y Thorne (1951), propusieron 5 clases para la determinación de la calidad del agua entre los límites de 0-750, de 750-1750, 1750-3000, 3000-5000 y mas de 5000 Micromhos/cm.

Chistensen y Lyerly (1952), utilizaron 5 clases de agua, con límites de conductividad de 0-1200, 1200-2400, 2400-4000, 4000-6000 y mas de 6000 (17, 18).

Scofield propuso 5 clases para la clasificación de agua de riego basado en los límites de concentración total de solidos disueltos en partes por millón: Primera clase o muy buena menos de 175 ppm.; Segunda clase o buena entre 175-525 ppm.; Tercera clase o tolerable entre 525-1400 ppm.; Cuarta clase o dudosa entre 1400-2100 ppm. y Quinta clase mayor de 2100 ppm. (17).

Los cationes intercambiables de los coloides del suelo estan en equilibrio con los iones de la solución del suelo. Es aparente, por lo tanto, que al aumentar la proporción de sodio a los otros cationes en las aguas de riego, la tendencia a la alcalinización del suelo también aumenta, de acuerdo con la reacción siguiente:



Las sales de Sodio por lo general se presentan en agua de riego si la proporción de Sodio es alta puede ser absorbida por las partículas del suelo resultando en

una desfavorable condición física, al mismo tiempo plantas sensibles al Sodio pueden ser perjudicadas por la acumulación de este elemento en el suelo. Las aguas con porcentajes altos en sodio requieren practicas especiales de manejo, por tal motivo es necesario considerar el peligro de Sodio en aguas de riego (3, 10, 11).

Kelley, Brown y Liebing (17), propusieron que el problema de Sodio en las aguas de riego podría determinarse con seguridad tomando como base la relación $\frac{Na}{Ca+Mg}$, con concentraciones expresadas en equivalentes por millón; cuando la relación excede de 1, las acumulaciones de Sodio tienden a convertirse en problema.

Wilcox (1948), propuso un diagrama para clasificar el agua de riego en 5 clases basándose en la conductividad eléctrica y los porcentajes de Sodio. Las divisiones entre los grupos de porcentaje de Sodio se determina mediante calculos basados en ecuación del efecto de la masa de Gapon, para que tuvieran los porcentajes de Sodio que produjera porcentajes determinados de Sodio intercambiable en la arcilla del suelo, cuando las soluciones y la arcilla estuvieran en equilibrio (3).

Este diagrama fue modificado por Thorne (1951), para obtener una clasificación que tuviera cinco clases para sal y cinco para el peligro creciente de adsorción de Sodio (3, 17).

La calidad del agua de riego ha sido evaluada por

muchos años en base al contenido total de Sodio y a la cantidad relativa de otros cationes (4).

En 1953, el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, propuso la relación de Adsorción de Sodio (RAS) como un criterio mas seguro para determinar el peligro de Sodio en el agua, siendo esta:

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

Esta relación se basa en las ecuaciones, se cambió de cationes del tipo del efecto de masa de (Gapon, 1933) y, teóricamente al menos está mas relacionada con los porcentajes de Sodio intercambiables que los simples valores de los porcentajes de Sodio (3, 17).

✓ El diagrama propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (1953) para clasificar las aguas de riego basada en la relación entre la Conductividad Eléctrica y la Relación de Adsorción de Sodio, pero modificado para las clases con elevado contenido de sal, se muestra en la Figura 1. Las líneas que dividen a las clases basadas en las Relaciones de Adsorción de Sodio son empíricas y estan basadas en los resultados de pruebas efectuadas en invernaderos y en el campo. Con la escala de la Conductividad Eléctrica y la Relación de Adsorción de Sodio como coordenadas, se puede localizar el punto correspondiente en el diagrama (2, 3).

La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) es uno de

los métodos mas recientes y mas seguros para determinar el potencial y el peligro de sodio en las aguas de riego (10). Esta relación expresa la actividad relativa de los iones de Sodio en reacción de intercambio catiónico con el suelo. Tiene mayor significación que el Porcentaje de Sodio Soluble (PSS), para utilizarse como un índice del peligro de Sodio o Alcalí del agua, ya que está mas directamente relacionado con la adsorción de sodio por el suelo (1).

Con respecto al peligro de Sodio, las aguas se clasifican en cuatro clases: Bajo Sodio, mediano Sodio, alto Sodio y muy alto Sodio, lo cual depende de los valores de conductividad eléctrica de 100 Micromhos/cm., los puntos de división se encuentran en valores para RAS de 10, 18 y 26, pero a medida que aumenta la salinidad los valores del RAS disminuyen progresivamente hasta 2,250 Micromhos/cm., en donde los valores para el RAS son aproximadamente 4, 9 y 14. Por lo que respecta al peligro de Sodio, las aguas varían desde aquellas que pueden ser utilizadas para riego en casi todos los suelos, hasta las que generalmente son inapropiadas para riego (1).

Con respecto al peligro de salinidad, las aguas se clasifican en cuatro clases que son:

Aguas de baja salinidad (C-1). Este tipo de aguas pueden ser usadas para riego en la mayoría de los cultivos y prácticamente en todos los suelos con poca probabi

lidad de desarrollar peligros de salinidad. Pero el lavado puede ser requerido cuando se usa en suelos de muy baja permeabilidad.

Aguas de mediana salinidad (C-2). Estas aguas pueden usarse para riego en todas las plantas a excepción de las mas sensibles; cuando se usan en suelos de baja permeabilidad habrá que hacer la selección de plantas de mediana tolerancia a la sal. Generalmente se lavarán lo suficiente con la manera ordinaria de regar.

Aguas de alta salinidad (C-3). Estas aguas no pueden ser usadas en suelos con drenaje restringido; aunque el drenaje sea adecuado, se requerirá un manejo especial para el control de la salinidad y se deberán seleccionar plantas con buena tolerancia a las sales.

Aguas de muy alta salinidad (C-4). Estas aguas son inapropiadas para riego bajo condiciones ordinarias pero pueden ser usadas ocasionalmente bajo condiciones muy especiales. Los suelos deben ser permeables; el drenaje debe ser adecuado y se deberá aplicar agua en exceso para proporcionar un lavado considerable y se deberán seleccionar cultivos muy tolerantes a las sales (2, 10, 13).

Los agricultores en el Valle de Pecos, Texas, producen de 2 a 3 pacas de algodón en tierras altas usando agua que contiene aproximadamente 3,500 Micromhos/cm. Estos suelos tienen buena permeabilidad y buen drenaje subterráneo, el algodón es el principal cultivo (muy tolerante a las sales) y además se tienen prácticas habituales como

sembrado en surco y riegos frecuentes para disminuir la salinidad (10).

Con respecto al peligro de Sodio existen cuatro clases que son:

Aguas bajas en Sodio (S-1). Estas aguas pueden ser usadas para riego en casi todos los suelos con poco peligro de desarrollar altos niveles de Sodio intercambiable. No obstante, las plantas sensibles al sodio como frutales de fruto seco y el aguacate, pueden acumular concentraciones peligrosas de sodio.

Aguas con contenido medio de Sodio (S-2). Estas aguas pueden ser usadas en suelos de textura gruesa u orgánicos con buena permeabilidad. Pueden ser muy peligrosas en suelos de textura fina que tengan una alta capacidad de intercambio catiónico, especialmente cuando no se pueda proporcionar un exceso de lavado, a menos que los suelos contengan yeso.

Aguas con contenido alto de Sodio (S-3). Pueden producir niveles peligrosos de Sodio intercambiable en la mayoría de los suelos y requerirán manejo especial para asegurar buen drenaje, lavado abundante y adición de materia orgánica. Los suelos yesosos pueden no desarrollar niveles peligrosos de sodio intercambiable cuando se usa este tipo de agua. Se podrán necesitar el uso de mejoradores químicos para reemplazar el sodio intercambiable, excepto en el caso de aguas con muy alta salinidad en las que los mejoradores no se podrán aplicar.

Aguas con contenido muy alto de Sodio (S-4). Son insatisfactorias para ser usadas con fines de riego, excepto en casos en que tengan baja o quizá mediana salinidad. Aplicaciones de yeso u otros mejoradores pueden hacer factible el uso de estas aguas (2, 10, 13).

Las aguas con un porcentaje de sodio menor de 60 y un bajo contenido de bicarbonato, son probablemente satisfactorias bajo muchas condiciones; a medida que el porcentaje de sodio incrementa arriba de 60 el peligro de sodio se convierte progresivamente mas grande (10).

Wilcox (6), indica que el límite permisible de sodio es de 40-60 %, Magistad y Christiansen dan de 60-75% como límites para dos clases de agua, y Eaton establece que aguas con un contenido de sodio mayor del 65 % del total de bases son de dudosa calidad.

La presencia de cantidades apreciables de yeso en un suelo puede permitir el uso de agua con un contenido desfavorable o alto peligro de sodio, particularmente si el contenido total de sal del agua es relativamente baja. El peligro de sodio de las aguas de baja salinidad puede ser reducido con adiciones de yeso al agua, similarmente puede ser ventajoso adherir mejoradores al suelo periódicamente cuando se usan aguas de alto sodio (10).

Algunas veces, el agua de riego puede disolver suficiente calcio en los suelos calisos para reducir apreciablemente el riesgo de daños de sodio. Esto debe de to-

marse en cuenta cuando se usan aguas de tipo Cl-S4 (3).

El boro como factor en la calidad del agua ha sido investigado extensivamente por Eaton, Scofield, Wilcox y otros (6). El boro es uno de los constituyentes menores practicamente de todas las aguas naturales (10). Es esencial para el desarrollo normal de las plantas. Pero es tóxico para ciertas especies si la concentración excede ligeramente de la cantidad que necesitan para su desarrollo normal las plantas tolerantes (aunque la deficiencia de boro produce síntomas muy apreciables en algunas especies). Los Limoneros muestran daños definidos y a veces económicamente importantes, cuando se riega con agua que contenga 1 ppm. de boro, en tanto que la alfalfa logra su máximo desarrollo si se riega con agua que posee de 1-2 ppm. (2, 19).

Eaton (1944), encontró que muchas plantas podían crecer normalmente en cultivos de arena con trazas de boro (0.03 a 0.04 ppm.) y que se presentaba toxicidad cuando la concentración llegaba a 1 ppm. (2).

Las concentraciones de boro que se encuentran en algunas aguas de riego obligan a tener presente este elemento para establecer su calidad (2). Aguas que contienen 1 ppm. de boro pueden ser consideradas como excelentes para la mayor parte de los cultivos; sin embargo, aguas que contienen 1-2 ppm. de boro son satisfactorias; aguas con 3 ppm. pueden ser usadas en la mayoría de los cultivos to

lerantes; aguas que contienen mas de 3 ppm. son dudosas e insatisfactorias para riego (11).

El boro es muy tóxico para las plantas a bajas concentraciones en la solución del suelo; plantas sensibles al boro pueden ser perjudicadas cuando la concentración es de 0.7 ppm. de boro en el extracto de saturación y cuando es mayor de 1.5 ppm. de boro aparece peligroso excepto en plantas tolerantes al boro (10).

El boro con frecuencia se presenta en concentraciones tóxicas junto con otras sales que también se encuentran en los suelos salinos. Puede ser lavado el suelo, pero si desde un principio las concentraciones son olevadas, aún cuando la concentración de otras sales se reducen a un nivel de relativa seguridad, pueden quedar en el suelo cantidades de boro suficientes para causar problemas a las plantas (2).

Debido a que el boro tiende a acumularse en el suelo, aún en el caso de aguas para riego que lo contienen en bajas concentraciones, es necesario considerar dicho elemento en la determinación de la calidad del agua (1).

Clasificación de aguas para riego de acuerdo con las concentraciones de boro según Scofield* es dada en el Cuadro 2 (10).

Cuadro 2. Límites tolerables de boro para varias clases de agua de riego.*

Clases	Cultivos sensibles al boro.	Cultivos semi-tolerantes al boro.	Cultivos tolerantes al boro.
	P P M		
1. Excelente	< 0.33	< 0.67	< 1.00
2. Buena	0.33-0.67	0.67-1.33	1.00-2.00
3. Permisible	0.67-1.00	1.33-2.00	2.00-3.00
4. Dudosa	1.00-1.25	2.00-2.50	3.00-3.75
5. Inservible	> 1.25	> 2.50	> 3.75

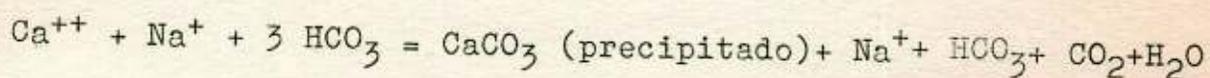
*Datos obtenidos del boletín 876. Salinity Control in irrigation. College Station Texas.

El ion bicarbonato es de gran importancia en el estudio de las aguas de riego, debido a la tendencia a precipitar el calcio y hasta cierto grado el magnesio, de la solución del suelo en forma de carbonatos normales, los iones carbonatos rara vez se encuentran en el agua, pero los iones bicarbonatos pueden representar una considerable proporción de los aniones presentes en las aguas. En muchas aguas de regiones tropicales, el ion bicarbonato es con frecuencia el principal anión.

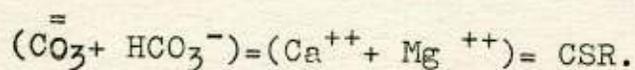
En aguas que contienen altas concentraciones de ion bicarbonato, hay la tendencia de precipitar el calcio y

el magnesio como carbonato mientras que la solución del suelo se convierte mas concentrada (2).

Eaton (1950), tomando como base las observaciones sobre el riego con aguas de los ríos Eufrates y Nilo que con altas en ion bicarbonato, sugirió que los carbonatos y bicarbonatos pudieron tener un efecto indirecto sobre la calidad del agua, a través de la precipitación del calcio y magnesio, aumentando por lo tanto el porcentaje de sodio (17). Esta reacción se puede ilustrar con la ecuación:



Las aguas que son relativamente bajas en sales totales y tienen un porcentaje de sodio que está dentro de los límites de seguridad puede ser de dudosa calidad si la cantidad de bicarbonato está considerablemente en exceso del calcio + magnesio presente. El exceso de bicarbonato es presentado como Carbonato de Sodio Residual como se muestra en la siguiente ecuación:



Cuando el agua de riego contiene Carbonato de Sodio Residual, al evaporarse en el suelo se precipitan los carbonatos de calcio y magnesio, aumentando el porcentaje de sodio en la solución del suelo. Y cuando el sodio reemplaza al calcio en las partículas del suelo, aumenta el porcentaje de sodio intercambiable en la solución del

suelo, perjudicando la condición física del suelo especialmente la permeabilidad. En consecuencia el pH aumenta disolviendo la materia orgánica, dando el color oscuro típico en los suelos llamados alcalí negro (11).

En la actualidad no hay clasificación especial de aguas basadas en los iones bicarbonatos. Sin embargo, cuando hay una cantidad apreciable de carbonatos residuales (mayor de 2.5 ppm.) son necesarias precauciones especiales al regar para evitar acumulaciones de cal y posible alcalinización del suelo (17).

Estudios hechos en el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (1953), con suelos en macetas en un invernadero, regadas con agua de sales de composición variable, causaron evidentes aumentos en los porcentajes de sodio intercambiable, cuando los suelos se regaban con aguas que contenían entre 5 y 2.5 ppm. de Carbonatos Residuales (2).

Según Eaton (1950), puede concluirse que las aguas con mas de 2.5 meq./lt. de "Carbonato de Sodio Residual" no son buenas para riego; aguas que contienen de 1.25-2.5 meq./lt. son dudosas; aguas que contienen menos de 1.25 meq./lt. con toda seguridad son buenas (17).

Las aguas que contienen arriba de 2.5 meq./lt. de Carbonato de Sodio Residual (CSR) no son apropiadas para riego; sin embargo; con buenas prácticas de lavado, drenajes y manejos (como lavados adecuados mantendrían un

nivel bajo de bicarbonatos en la solución del suelo y las aplicaciones de yeso o cualquier otra fuente de calcio soluble para mantener la relación Ca=Na favorable para la solución del suelo) podrían ser posibles para irrigación (1).

Algunas otras sales o iones se encuentran en el agua de riego en concentraciones que no son tóxicas, pero pueden acumularse en la solución del suelo en cantidades suficientes causando reacción tóxica en las plantas. Los iones mas probables que causan esta reacción, a parte del sodio y el bicarbonato, son el cloro, sulfato, selenio, litio y fluor. Estos tres últimos iones cuando se encuentra en el suelo, pueden acumularse en los tejidos de las plantas. Comunmente el selenio y el Fluor no afectan el crecimiento de las plantas pero pueden causar serios problemas en la vida animal. Una fracción de 1 ppm. de litio en las aguas para riego produce quemaduras en la punta y márgenes de las hojas y defoliación en los cítricos (11).

Bradford (1963), reporta que en California se ha observado la toxicidad del lilio en los cítricos, cuando el contenido de éste en el agua de riego es de una concentración de 0.05 ppm.. En general este elemento se encuentra relacionado con un contenido bajo de magnesio o alto de sodio o con ambos (2).

Donde se cultivan frutales, los iones de cloro y so

dio pueden ser tóxicos, provocando quemaduras en las hojas o daños severos en los frutos. No se han establecido límites definidos para la clasificación de aguas en las zonas frutícolas, tomando como base el contenido de estos iones; sin embargo, las concentraciones mayores de 10 ppm. de cualquier ion produce tostaduras severas en las hojas (3).

En la mayor parte de los casos existen pocas probabilidades para la elección de una agua para riego, el agricultor o usa agua de la que dispone, o no riega. Si usa agua de mala calidad la tierra puede convertirse en improductiva. Pero la calidad del agua puede mejorarse aumentándole el contenido de calcio. A menudo se puede mezclar agua de buena calidad con agua de mala calidad. Este procedimiento es frecuente cuando se usan bombas para drenaje (3, 18).

El uso de aguas de riego de mala calidad pueden desarrollar problemas tales como: 1. Problema de salinidad; 2. Problema de sodio; 3. Problema de boro.

Los problemas de salinidad se desarrollan cuando se acumulan bastante sal en el suelo al grado de dañar los cultivos. Esto puede suceder si el drenaje es pobre, si los riegos son inadecuados, o si el agua de una alta concentración de sales ha sido utilizada.

Un problema de sodio se desarrolla en un suelo si la cantidad de este elemento es alta en comparación con

la cantidad de calcio + magnesio cuando sucede esta condición el suelo perderá su permeabilidad, se volverá pegajoso cuando humedo, y duro y difícil de trabajar cuando seco. El problema de sodio se agrava si el contenido de bicarbonato al igual que el contenido de sodio es alto en relación al contenido de calcio mas magnesio. En estos casos el calcio es depositado en el suelo como carbonato de calcio, lo que hace que con menos calcio en la solución del suelo aumente el contenido de sodio.

Los problemas de Boro se presentan cuando las concentraciones de este elemento exceden ligeramente de los límites requeridos por los cultivos (8).

Las aguas de riego pueden producir profundos cambios en los suelos. El limo y las sales solubles pueden depositarse sobre o dentro de los suelos. Los compuestos de baja solubilidad como carbonato y yeso pueden precipitarse dentro del suelo (17).

Puesto que el desarrollo de lo salobre de los suelos es un proceso de acumulación de sal, los suelos afectados por las sales pueden ser asociados con buena o pobre calidad del agua. Evidentemente una agua de riego con mayor contenido de sal tiene posibilidades de desarrollar estas condiciones. Tres tipos de suelo ocurren al ser afectados por sales: Suelos salinos; suelo salino-sódicos; suelos sódicos. Dado que diferentes manejos y reclamación de prácticas pueden ser requeridos para cada tipo, es im-

portante distinguir entre estas condiciones de sales (10).

Las sales afectan directamente al desarrollo de las plantas: 1. Al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, reduciendo la aprovechabilidad del agua; 2. Alterando la nutrición mineral de las plantas; Alterando las condiciones físicas del suelo con una consecuente limitación en la penetración de las raíces; por acumulación de ciertos iones en concentraciones tóxicas en el tejido vegetal (1, 5).

El efecto mas común de alta concentración de sales es el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo, causando fisiológicamente escases de agua en el ambiente en el cual se desarrollan las raíces de las plantas (16).

Las respuestas típicas de las plantas al incremento de la salinidad en el ambiente de las raíces es la reducción del tamaño. Esto es mas evidente en los brotes nuevos de las plantas, y es típico aún de plantas que estan sometidas a un incremento gradual en la salinidad alrededor de las raíces y en plantas que estan sufriendo ajustes de su presión osmótica interna (12).

La reducción del crecimiento de las plantas causado por los substratos salinos está estrechamente mas relacionado a la toma anormal de cantidades de sales que a la reducción de adsorción del agua. Ya que la alta con-

centración de sal reduce el potencial osmótico de la sabia de la célula y es menor en el ambiente de las raíces (9).

Existe suficiente evidencia para afirmar que un aumento en la presión osmótica de la solución del suelo, puede ocasionar una disminución en la absorción del agua por las raíces; pero además, se debe de tomar en cuenta un factor adicional cuando se trata con el sistema del suelo, éste es, "La tensión de humedad del suelo" o sea la atracción molecular que la superficie de las partículas del suelo ejerce sobre el agua. La tensión de humedad del suelo aumenta conforme se va secando y las películas de agua alrededor de las partículas se vuelven más delgadas. Esta presión negativa equivalente es, aparentemente, aditiva a la presión osmótica de la solución del suelo en su efecto limitante de disponibilidad de agua para las raíces de las plantas. La suma de esta tensión del suelo y de la presión osmótica de la solución del suelo, ha sido designada como "Esfuerzo total de la humedad del suelo". Los estudios de los efectos de varios tratamientos de humedad y niveles de salinidad en el crecimiento vegetal, indica que el desarrollo de las plantas es una función del esfuerzo total de humedad del suelo, independientemente de que dicho esfuerzo provenga principalmente de la tensión por salinidad o de la tensión por humedad (2).

Es evidente que uno de los principales efectos de moderados niveles de salinidad en el suelo es limitar el agua a las plantas al incrementar la presión osmótica de la solución del suelo. Este efecto es intensificado por un incremento en la tensión del suelo (6).

Bajo la mayoría de las condiciones, los malos efectos de la salinidad son causados grandemente por el incremento en la presión osmótica de la solución del suelo, la cual incrementa a medida que incrementa la concentración de sales en la solución del suelo (10).

Harris (6), hace notar que la acción peligrosa de las sales no es en todos los casos proporcional a la presión osmótica, del substrato salino, sino que depende de la especie, o de cada uno de los componentes que están presentes en las soluciones salinas, que pueden tener algunos efectos tóxicos por encima a los considerados en base a la presión osmótica del suelo.

Ciertas sales o iones pueden producir efectos tóxicos específicos, a esto se conoce como efecto del ion específico. Los iones que frecuentemente se encuentran en los suelos salinos, que causan estas condiciones son: Na, Ca, Mg, K, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃. (6).

MATERIAL Y METODOS

"La Zona del Sahuaral", Costa de Hermosillo, ocupa la porción media occidental del Estado de Sonora, entre los paralelos $28^{\circ} 10'$ Norte y los meridianos $112^{\circ} 30'$ y $115^{\circ} 15'$ al Oeste de Greenwich. Su ubicación geográfica se localiza al norte limitando con el distrito de riego No. 51, al Sur, con el entronque de la calle 4 y carretera Internacional, al Este, con la carretera Guaymas-Hermosillo, al Oeste, con el litoral del Golfo de California.

Debido a su proximidad al oceano, a las condiciones desérticas que prevalecen en esta zona, y análisis previos hechos en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, se ha observado que las muestras de aguas provenientes de esta zona, mostraron altas concentraciones de sales y con posibilidad de ser altas en sodio. Y además aparece ser que la calidad del agua es menos aceptable que la correspondiente al distrito de riego No. 51

Con base en lo anterior se llevó a cabo el presente estudio; tomando muestras de agua de 62 pozos que representan el 85% de los existentes actualmente en esta zona.

Procedimiento para tomar las muestras.

Se adquirieron 100 frascos de plastico con capacidad de 1/2 litro, con sus respectivos tapones; se lavaron y se enjuagaron con agua destilada para evitar contaminacio

nes; posteriormente, en un vehiculo se recorrió la zona y con la ayuda de un plano topográfico de la Zona del Sahuaral se localizaron los diferentes pozos.

Una vez localizados los sitios de muestreo se procedió a tomar las muestras de las descargas del pozo. Antes de tomar las muestras se enjuagaba el frasco con agua de la misma descarga, después se llenaba, se cerraba y se le colocaba una etiqueta con los siguientes datos: a) Nombre del predio; b) Fecha de muestreo; c) Propietario; d) Temperatura del agua al tomar la muestra. Las muestras se tomaron de los pozos que tenían funcionando cuando menos 24 horas, si el pozo no se encontraba trabajando, se procedía a hacerlo funcionar y se dejaba que estuviera bombeando agua una hora o mas tiempo.

Una vez tomada las muestras se concentraban en el Laboratorio donde se les anotaba el siguiente registro: 1. Número de muestra del Laboratorio; 2. Fecha de llegada; 3. Número de pozo y 4. Nombre del predio.

Los análisis de las muestras se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, e incluían las siguientes determinaciones: pH, Conductividad Eléctrica (C.E.) expresada en Micromhos/cm. a 25° C.; total de sólidos disueltos en ppm.; calcio + magnesio; calcio; magnesio; carbonato; bicarbonato; sulfatos; cloruros; Relación de Adsorción de sodio (RAS); Porciento de Sodio In-

tercambiable (PSI) y toneladas de sal por hectárea. Todos los aniones y cationes fueron expresados en meq./lt. Los resultados correspondientes a las muestras de cada uno de los pozos se muestra en la Tabla 1, que aparece en el apéndice. No se determinó Potasio ni Boro, ya que el potasio es un elemento que se presenta rara vez o en muy bajas concentraciones en aguas de riego. El boro no se analizó debido a que no se contaba en el Laboratorio con el material necesario para su determinación. Los análisis se efectuaron siguiendo los procedimientos recomendados para análisis de agua de irrigación explicados con detalle en el capítulo No. 8 del manual No. 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Los cloruros se determinaron por titulación con nitrato mercúrico $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 0.002 N, usándose como reactivos HNO_3 y difenilcarbazona, debido a que con este método se aprecia mejor el cambio al titular, no sucediendo lo mismo con el método de Mohr o sea por Argentometría, donde al titular se esta presentando un precipitado en el que es un poco difícil observar el cambio, a menos que se efectúe por una persona con experiencia en esta determinación (3).

En este estudio el Sodio no se determinó de acuerdo con los procedimientos recomendados en el manual, debido a que no se contaba con los aparatos necesarios para su determinación. Se calculó en la forma siguiente:

Meq./lt. de Na=(C.E. Milimhos/cm.)(10-meq./lt. de Ca+Mg)

El RAS (Relación de Adsorción de Sodio) y PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable), se determinaron mediante las fórmulas empíricas que ofrece Richards y comparadas con las gráficas que presenta dicho manual:

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

PSI se calculó con la ecuación empírica.

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

Las toneladas de sal por hectárea se calcularon con la fórmula siguiente:

$$\text{T.a.F. (T.S.Ha)} = \text{ppm.} \times 0.00136.$$

Sólidos disueltos, se determinan evaporando hasta desecación completa una muestra de agua filtrada y pesando el residuo.

Valor pH. Se determinó con el potenciómetro, por medio del electrodo de vidrio en equilibrio con determinada atmósfera de CO_2 .

Con estos análisis se clasificaron las aguas de acuerdo con sus características agrupándolos en sus diferentes tipos, y recomendándose precauciones que deban tenerse para evitar posibles problemas. Estas precauciones incluyeron selección de cultivos que se adapten al tipo de agua y suelo, métodos de manejo del suelo, méto-

dos de irrigación y algunas prácticas culturales como adición de sustancias químicas para la rehabilitación de los suelos afectados.

RESULTADOS

Con los análisis de cada una de las muestras de los diferentes pozos los cuales se indican en la Tabla 1, del apéndice. Podemos hacer notar que el pH del agua de la mayoría de los pozos se encuentra en un rango normal. Con los resultados de las determinaciones de sólidos solubles totales se clasificó el agua de cada uno de los pozos de acuerdo con la clasificación de aguas para irrigación sugerida por Scofield, basada en ppm. de sólidos totales, considerando el número y porcentaje de pozos que caen dentro de cada clase.

Cuadro 3. Clasificación de agua de irrigación sugerida por Scofield y porcentaje de pozos muestreados correspondientes a cada clase.

Clase de agua	Concentración de Sólidos totales ppm.	No. de pozos.	%
1a. Clase o muy buena	< 175	0	0
2a. Clase o buena	175-525	11	17.8
3a. Clase o tolerable	525-1400	31	50.0
4a. Clase o dudosa	1400-2100	18	29.0
5a. Clase o inutil	> 2100	2	3.2

En el Cuadro 3, se observa que ningun pozo de los muestreados contiene agua de muy buena calidad, 11 de los pozos muestreados, que corresponden al 17.8 % contienen agua de buena calidad; 31 pozos o sea el 50 % de ellos contienen concentraciones de sólidos solubles tota

los que pueden ser tolerables; 18 pozos que equivalen al 29 % contienen altas concentraciones de sólidos solubles que las hacen dudosas para ser usadas en irrigación; 2 de los pozos que son: El 14 y 16*, corresponden al 3.2 % contienen muy altas concentraciones de sólidos solubles cuya agua es inútil para ser usadas en irrigación.

La Conductividad Eléctrica da la concentración de sales solubles y como vemos en la Tabla 1, la mayor parte de los pozos contienen Conductividades arriba de 1 mi limmhos/cm.. Con la lectura de las conductividades de las muestras se procedió a clasificar el agua de todos los pozos muestreados de acuerdo con la clasificación para aguas de irrigación sugeridas por Wilcox. Basada en la Conductividad Eléctrica en Micrommhos/cm. a 25° C. y determinar el número y porcentaje de ellos que caen dentro de cada clase.

Cuadro 4. Clasificación de aguas de irrigación sugeridas por Wilcox, considerando el número y porcentaje de pozos correspondientes a cada clase.

Clase de agua	C.E. en Micrommhos/cm. a 25° C.	No. de pozos	%
1. Agua de baja salinidad.	100 - 250	0	0
2. Aguas de mediana salinidad.	250 - 750	9	14.5
3. Aguas de alta salinidad.	750 - 2250	36	58.1
4. Agua de muy alta salinidad.	2250 - 5000	17	27.4

* Clasificación de los pozos en la Zona del Sahuaral dada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos (ver plano).

El Cuadro 4, muestra que ningún pozo contiene agua de baja salinidad; pero el 14.5 % de los pozos muestreados contienen agua de mediana salinidad; el 58.1 % de ellos contienen agua de alta salinidad; y el 27.4 % contienen muy altas concentraciones de sales.

Como se observa en las determinaciones individuales de la Tabla 1, el RAS de algunos pozos es alto, por lo tanto el peligro de sodio es de consideración y algunas aguas pueden presentar peligro de sodio en combinación con peligro de salinidad. Se procedió a clasificar el agua de los pozos de acuerdo con el diagrama sugerido por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, basado en la Conductividad Eléctrica en Micromhos/cm. y la Relación de Adsorción de Sodio (RAS). Para determinar el peligro de sodio en conjunto con el peligro de salinidad de las aguas de los pozos.

Cuadro 5. Clasificación de la zona de irrigación con relación al diagrama propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, considerando el número y porcentaje de pozos muestreados correspondientes a cada clase.

Clase	Salinidad	Sodio	No. de pozos	%
C1 S1	Baja	Bajo	0	0
C1 S2	Baja	Medio	0	0
C1 S3	Baja	Alto	0	0
C1 S4	Baja	Muy alto	0	0
C2 S1	Mediana	Bajo	7	11.2
C2 S2	Mediana	Medio	2	3.2
C2 S3	Mediana	Alto	0	0
C2 S4	Mediana	Muy alto	0	0
C3 S1	Alta	Bajo	6	9.6
C3 S2	Alta	Medio	19	30.6
C3 S3	Alta	Alto	11	17.7
C3 S4	Alta	Muy alto	0	0
C4 S1	Muy alta	Bajo	1	1.6
C4 S2	Muy alta	Medio	3	4.8
C4 S3	Muy alta	Alto	11	17.7
C4 S4	Muy alta	Muy alto	2	3.2

En esta clasificación se observa que el 11.2 % de los pozos muestreados contienen agua de media salinidad y bajo sodio; el 3.2 % contienen aguas de mediana salinidad y medio sodio; el 9.6 % contienen aguas de alta salinidad y bajo sodio; el 30.6 % contienen aguas de alta sa

linidad y medio sodio; el 17.7 % contienen aguas de alta salinidad y alto sodio; el 1.6 % contienen aguas de muy alta salinidad y bajo sodio; el 4.8 % contienen aguas de muy alta salinidad y medio sodio el 17.7 % contienen aguas de muy alta salinidad y alto sodio y el 3.2 % de los pozos muestreados contienen aguas de muy alta salinidad y muy alto sodio.

Con los resultados que obtuvimos de esta clasificación podemos hacer notar que el 38.6 % de los pozos muestreados contienen aguas con altos peligros de salinidad y alto peligro de sodio. Si consideramos el peligro de sodio solo independientemente del peligro de salinización, y de acuerdo con las determinaciones del RAS, considerando a éste como un factor para la clasificación de aguas para riego podemos observar los siguientes resultados.

Cuadro 6. Clasificación de aguas tomando como base la Relación de Adsorción de Sodio. Considerando el número y porcentaje de pozos correspondientes a cada grupo.

Clasificación	R.A.S.	No. de pozos	%	Grupo
1. Factor bajo de adsorción de sodio.	0 - 10	42	67.7	S1
2. Factor medio de adsorción de sodio.	10 - 18	19	30.6	S2
3. Factor alto de adsorción de sodio.	18 - 26	1	1.6	S3
4. Factor muy alta de adsorción de sodio.	26	0	0	S4

El Cuadro 6, muestra que el 67.7 % de los pozos muestreados contienen bajo peligro de sodio; el 30.6 % contienen medio peligro de sodio y el 1.6 % contienen al to peligro de sodio.

El análisis de las muestras no reportó contenido de carbonato en las aguas, pero el contenido de bicarbonato varió desde 1.9 meq./lt. a 6.080 meq./lt., éste último se presentó en el pozo 4. De acuerdo con Eaton, utilizando el contenido de Sodio Residual en el agua se proce dió a clasificar el agua de los pozos muestreados en cuanto a la concentración presente de este elemento.

Cuadro 7. Clasificación de aguas en base al contenido de sodio residual.

Clase	Concentración en meq./lt. de CSR.	No. de pozos	%
1. Clase buena	< 1.25	41	66.1
2. Clase dudosa	1.25-2.5	12	19.3
3. Clase inútil	> 2.5	9	14.5

Como se observa en el Cuadro 7, el 66 % de los pozos muestreados contienen concentraciones en el agua bajas en bicarbonato; el 19.3 % contienen concentraciones de bicarbonato un poco mayor al contenido de calcio mas magnesio, éste las hace dudosas para ser usadas en irrigación; el 14.5 % de los pozos contienen aguas con alto contenido de Carbonato de Sodio Residual que las hacen inútiles para ser usadas en irrigación.

El contenido de sulfato de las muestras de agua analizadas fue bajo y no llegando a un meq./lt., pero el contenido de cloruro es muy alto y se encuentra desde 0.8 meq./lt. hasta 25.146 meq./lt., esta concentración se presentó en el pozo O-14 del Predio San Francisco de esta zona; 45 de los pozos muestreados que corresponden al 61 %, contienen altas concentraciones de cloro, debido a que sobrepasan los límites que se consideran acceptables para no desarrollar daños en las plantas.

El PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) está en relación a los valores del RAS, los valores de éste aumentan conforme aumentan los valores del RAS.

Analizando todos estos datos y de acuerdo con las clasificaciones mencionadas anteriormente se puede considerar que el 50 % de los pozos muestreados de la Zona del Sahuaral, contienen aguas de alta salinidad y entre medio y alto sodio.

DISCUSION

"La Zona de El Sahuaral", Costa de Hermosillo es una región que por sus condiciones de climas desérticos y bajas precipitaciones, por su proximidad al océano, presenta condiciones favorables para el desarrollo de sales. El constante abatimiento de los mantos acuíferos puede ser un factor principal que influye para disminuir la calidad del agua debido a posibles corrientes que se pueden establecer entre los mantos de agua dulce y el mar. Se procedió a estudiar la calidad de agua de esta zona para determinar el estado de salinidad en que se encuentra.

Se encontró de acuerdo con los análisis de las muestras (Tabla 1, del apéndice) que el 82.2 % de los pozos muestreados contenían concentraciones de sólidos totales mayor de 525 ppm. (que son los límites que fijó Scofield en su tabla donde marca la transición de agua buena a agua tolerable), y un bajo porcentaje de pozos contienen agua de buena calidad. Las mas altas concentraciones de sales se presentaron en las muestras que fueron recolectadas de los pozos que se encuentran localizados en las áreas mas cercanas al océano.

Según Cristópulos (3), en un estudio hecho en 1964-1965, en el distrito de riego No. 51 de la Costa de Hermosillo, encontró que la mayor concentración de sólidos totales o sales se presentó en las aguas de los pozos de

la zona "El Carrizal" los cuales contenían concentraciones hasta de 1300 ppm. de sales, también se observó al final de la calle 28 Sur de la Costa de Hermosillo; habiéndose encontrado un pozo con concentraciones de 2400 ppm. de sólidos totales y 1200 ppm. de cloruros, estas zonas son las mas cercanas al océano.

El peligro de salinidad de todos los pozos muestreados es de consideración ya que esta agua se está utilizando para riego y el peligro de salinidad varió desde mediana salinidad a muy alta salinidad, encontrándose los mas altos porcentajes de 58.1 % y 27.4 % entre aguas de alta y muy alta salinidad, y ningún pozo reportó contenido de baja salinidad. Con el uso de este tipo de agua rara vez se obtienen buenos resultados y únicamente cultivos tolerantes a las sales pueden desarrollar bién, siempre y cuando se aplique agua en abundancia o se tenga muy buen drenaje.

El peligro de sodio de las aguas de los pozos muestreados fue bajo, encontrándose que el 98.3 % de las aguas de estos pozos contienen concentraciones entre bajo y medio, pero el peligro de sodio se agrava cuando aumenta la salinidad en las aguas. Por ejemplo si tenemos un RAS entre 8 y 10 y si la lectura de la Conductividad es entre 100-250 Micromhos/cm. el peligro de sodio se considera dentro del grupo S1 ó bajo sodio, pero si tenemos el mismo RAS y la lectura de la conductividad eléctrica fue mayor de 2,250 Micromhos/cm. el peligro de So

dio se agrava y cae dentro del grupo S2 ó medio Sodio. Encontrándose así, que el 38.6 % de las aguas de los pozos reportaron concentraciones entre alto y muy alto sodio, cuando el peligro de sodio fue clasificado junto con el peligro de salinidad y el aumento del peligro de sodio de algunas aguas de los pozos fue debido al alto peligro de salinidad que presentan estos pozos. Esto no va de acuerdo con Rhoades, que dice que un decrecimiento en el contenido de calcio mas magnesio y bicarbonato es acompañado por un incremento de los valores de RAS (Relación de Adsorción de Sodio) ésto fue observado en cinco aguas para riego, teniendo valores de pH menores de 8.4 y una con un pH mayor de 8.4. En otros casos el incremento de la concentración de Ca + Mg y HCO_3 hay un decrecimiento proporcional del peligro de sodio (15).

Handa, reporta que las aguas subterráneas varían desde media a alta salinidad y pueden ser usadas para regar plantas con moderadas o alta tolerancia a las sales, y que el contenido de sodio en la mayoría de las aguas es bajo o medio, pero algunas aguas con alto contenido de sodio pueden ser usadas en irrigación con adición de sulfato de calcio o algunas otras sales baratas de calcio (7). Esto está de acuerdo con estos análisis en que todos los pozos muestreados reportaron entre alta y muy alta salinidad pero bajo y medio contenido de sodio.

La presencia de iones bicarbonatos en las aguas de

los pozos muestreados fue bajo en la mayor parte de ellos, pero debe de tenerse mucho cuidado con el uso de aguas de los pozos que reportaron alto contenido de carbonato de sodio residual, debido a que las altas concentraciones de bicarbonato en el agua de riego es peligrosa, si la concentración de calcio + magnesio es relativamente baja con relación a la concentración de este ion. A la diferencia de la concentración de bicarbonato + carbonato menos calcio + magnesio se le llama "Carbonato de Sodio Residual". El 33.8 % de los pozos tuvieron concentraciones mayores de 1.25 meq./lt. de Carbonato de Sodio Residual. El exceso de bicarbonato con Relación al Contenido de Calcio mas Magnesio tiende a precipitar estas cationes en forma de carbonatos insolubles y aumentar las solubilidad del sodio con un consecuente aumento en el peligro de sodio en el suelo. Esto no va de acuerdo con Thorne y Thorne, quienes reportaron que las concentraciones de carbonato y bicarbonato en diferentes aguas de irrigación aplicadas bajo un promedio de condiciones de campo por relativamente grandes períodos de tiempo a 15 diferentes suelos, no hubo un incremento significativo en los porcentajes de sodio o en el contenido de limo de los suelos (18).

El contenido de cloro en la mayor parte de los pozos muestreados fue alto; deben de tenerse algunas consideraciones al usar aguas altas en cloruros, debido a que

las concentraciones de cloro arriba de 5 meq./lt., en las aguas de riego producen peligros de toxicidad en algunos cultivos y principalmente en aguacate, durazno y nogal (15). Cabe advertir que las concentraciones moderadas de cloruro de calcio son altamente tóxicas para los frutos de endocarpio duro. El contenido del ion cloruro en el agua de los pozos es una indicación de una posible intrusión salina dentro de ellos. Debido a que todos los iones mayores que se presentan en el agua de mar, el ion cloruro no es afectado por los procesos de cambios, de tal manera que este ion puede formar con otras sales y presentarse en el agua perjudicada sin que necesariamente ésta sea alta en sodio. Debe descartarse la idea errónea de que en los acuíferos donde se presenta la intrusión salina, necesariamente debe ser alto en contenido de sodio. Esto es una evidencia de que posiblemente la alta salinidad que presentan algunos pozos de la zona El Sahuaral sea una posible intrusión salina, ya que el contenido de cloro en las aguas de la mayoría de los pozos es alto y el contenido de sodio es bajo. Debido a ésto se hace necesario hacer exploraciones con isotopos radioactivos en pozos cercanos al mar y tratar de encontrar las radiaciones en estos pozos para ver si hay alguna corriente establecida con los pozos que presentaron alto contenido de sales entre esta zona y el mar.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación fue planeado y desarrollado con el fin de conocer el estado de salinidad que presentan los diferentes pozos de la zona El Sahuaral, Costa de Hermosillo.

La recolección de las muestras de agua se inició en enero de 1968, terminándose en febrero del mismo año. Los análisis de las muestras de agua de cada uno de los pozos muestreados se efectuaron en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. Para llevar a cabo dichos análisis se muestrearon 62 pozos que representan el 85 % de los actualmente existentes en la zona El Sahuaral. Las muestras se tomaron directamente de las descargas del pozo, procurando que la extracción tuviera cuando menos 24 horas de establecida. Las muestras se tomaron en botellas de plástico de 1/2 litro de capacidad con sus respectivos tapones de plástico, cada una de ellas se etiquetó anotando temperatura del agua al tomar la muestra, número de pozo y nombre del predio.

Una vez tomadas las muestras se concentraron en el Laboratorio donde se les siguió un registro semejante, llevándose a cabo los análisis con respecto a la salinidad de estas aguas. Las determinaciones se hicieron siguiendo las indicaciones del manual No. 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América,

excepto las determinaciones de sodio que se efectuó con la fórmula empírica.

C.E. en Milimhos/cm. a 25° C. X 10- meq./lt. de Ca + Mg. y los cloruros, los cuales se determinaron por titulación con nitrato mercúrico $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 0.002N, usando como reactivo HNO_3 y difenilcarbazona.

Al terminar los análisis, con los resultados de cada una de las determinaciones se clasificaron las aguas de los pozos de acuerdo con las clasificaciones para aguas de irrigación sugeridas por Scofield, Wilcox, el diagrama propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, el RAS considerado como un factor de clasificación y los límites propuestos por Eaton con relación al contenido de Carbonato de Sodio Residual o peligro de bicarbonato.

Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

1. El 82.2 % de los pozos muestreados contienen concentraciones totales de sólidos disueltos de 525 ppm. (cantidad fijada por Scofield en su tabla como límite de aguas buenas) y mas de 2100 ppm. las mas altas concentraciones de sales entre 1000 ppm. y 2356 ppm. se encuentran en la zona localizada a la derecha de la calle 4 y pasando el lomerio medanoso hacia el Sur.

2. El estado de salinidad que guardan los pozos de esta zona es muy alto; según la tabla de Wilcox, el 85 % de los pozos muestreados contienen aguas de alta y muy al

ta salinidad y son inadecuadas para ser usadas en irrigación a menos que se tengan prácticas especiales de manejo y drenajes artificiales y se utilice gran cantidad de agua para reducir las sales por percolación, solamente el 14.5 % de los pozos contienen aguas de mediana salinidad.

3. El contenido de sodio de la mayor parte de los pozos se encuentran en bajas concentraciones, el 67.7 % de los pozos contienen aguas con bajo contenido de sodio y se encuentran dentro del grupo S-I; y el 40.6 % de ellos dentro del grupo S-2 o medio sodio. Debe de tenerse muy en cuenta el contenido de sodio en estos pozos debido a que el peligro de alcalinización en el suelo aumenta conforme aumenta el peligro de salinidad y la concentración de sales es muy alta en la mayor parte de los pozos. Si no se tiene un buen manejo del agua pueden desarrollarse peligros de sodio en el suelo.

4. El contenido de bicarbonato en las aguas de los pozos de esta zona es bajo en la mayoría de ellos, pero el 33.9 % de los pozos contienen cantidades de Carbonato de Sodio Residual en el agua, lo que las hacen dudosas ó inútiles para ser usadas en irrigación. Por lo tanto las aguas que contengan estas características debe de tenerse mucho cuidado al ser usadas para riego, ya que son las mas viables de crear problemas de sodio en el suelo.

5. El 61 % de los pozos muestreados reportaron altas concentraciones de **cloro**, ésto puede ser debido a una posible intrusión salina en los pozos de esta zona, ya que las mas altas concentraciones se presentaron en los pozos mas cercanos al océano.

Como el problema de salinidad de los pozos de esta zona es alto, encontrándose que el 82.2 % contienen concentraciones de sales arriba de los límites tolerables, es necesario seguir haciendo análisis cuando menos cada dos meses para comprobar si la salinidad va en aumento. En el caso de los pozos que contienen muy altas concentraciones de sales es necesario cerrarlos y reponerlos en partes donde las concentraciones de sales no sean considerables. Con el uso de aguas para riego con muy altas concentraciones de sales, como en el caso del pozo 16 que contiene la mas alta concentración de sal, 2356 ppm. se puede afirmar que por cada riego de una lámina de 30 cm./Ha. se está agregando al suelo 7.9 toneladas de sal y considerando que si una hectárea de algodón requiere un promedio de 80 cm. de lámina, se agregará al suelo 20.8 toneladas de sal/Ha. por cada ciclo de este cultivo, cantidad suficiente para que en un lapso muy corto de tiempo se tengan problemas de sales en estas tierras. A menos que se atienda buen manejo del agua y el uso de algunos mejoradores químicos y prácticos de drenaje.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ALLISON, L. E. La Salinidad y su relación con el riego. Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos. Riverside California. Edit. Centro Regional de ayuda técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). México. 1ra. Ed. p. 1-18. 1966.
- 2) ALLISON, L. E., J. W. BROWN Y PERSONAL DEL LABORATORIO DE SALINIDAD DE LOS ESTADOS UNIDOS. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Trad. Richards, L. A., Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. (Manual No. 60). p. 59-63, 69-82. México. 1962.
- 3) CRISTOPULOS, G. J. Estado de Salinidad del Acuífero de la Costa de Hermosillo y algunos conceptos sobre la intrusión Salina. Hermosillo, Sonora, Méx. Escuela de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. p. 15-16, 30. 1966 (Tesis Mimeografiada).
- 4) DRENGNE, H. E. Irrigation water Quality and the Leaching requirement. New Mexico State University, Agricultural Experiment Station. Bull. 542. 1969.
- 5) FULLER, H. W. Water, Soil, and crop Management principles for the Control of Salts. The University of Arizona. Agricultural Experiment Station cooperative Extension Service. Bulletin A-43. Tucson. 1967.
- 6) GRILLOT, G., H. E. HYWARD and E. D. HOWE. Utilization of Saline water. Reviews of Research. UNESCO. Published by the United Nations Educational, Scientific Cultural Organization. p. 9-49. UNESCO. 2da. Ed. 1956.
- 7) HANDA, B. K. Agricultural quality of groundwater in kutch. Indian. J. Agric. Sci. 36. 233-238. (original no consultado, extractado. Soils and Fert. Vol. 30, No. 3. Abs. Nos. 2202. 1967-1968.
- 8) HUERTA, M. R. Apuntes de Fertilidad de Suelos. Escuela de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. 1966. (Apuntes sin publicar).

- 9) KRAMER, J. P. Plant-Soil Water relationships and factors Affecting the absorption of water. University of Arizona. p. 207-213. 1969.
- 10) LYERLY, J. P. y D. E. LONGENECKER. Salinity control in Irrigation Agriculture. Tex. Agr. Ext. Service. Boll. 876. College Station Texas. 1962.
- 11) MILTON, F. y H. E. HAWARD. The Yearbook of Agriculture. The United State Departament of Agriculture. p. 321-325. Washington. 1955.
- 12))'LEARY, J. W. Leaf Characteristics of plants. Subjected to Increasing Salinity. Eveiromental Research Laboratory. The University of Arizona, Tucson. 1969.
- 13) ORTIZ, M. R. Suelos Salinos y Alcalinos, conceptos actuales sobre su estudio. Guanos y Fertilizantes de México, S. A. Bol. 46. p. 39-45. 1966.
- 14) RILEY, J. J. Physiological Responses of plants to Salinity: Plant water Relations. Eviromental Research Laboratory, the University of Arizona. Reprint No. 3. Tucson.
- 15) RHOADES, J. D. Mineral Weathering Correction. For Estimating the Sodium Hazard of Irrigation Waters Proc. Soil. Sci. Vol. 32. No. 5. p. 648. 1968.
- 16) SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. La Concentración de Sales en los suelos y sus efectos sobre el movimiento del agua y la evaporación. Dirección General del Distrito de Riego. Dirección General del Distrito de Riego. Dirección de Estadística y Estudios Económicos. Memorandum Técnico No. 194. México, D. F. 1963.
- 17) THORNE, W. D. y H. B. PETERSON. Técnica del riego y explotación del suelo. Lepe, José Luis. México, D. F. Cia. Editorial Continental, S. A. p. 139-161. 1963.

- 18) THORNE, W. D. and H. B. PETERSON. Irrigated Soil, their Fertility and Management. New York. The Blakiston Company Inc. Second Ed. p. 113. Toronto. 1954.
- 19) U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE and MARICOPA COUNTRY COOPERATING. Crop. Tolerances to Salt in Desert Soil. University of Arizona. Coll. of Agriculture Coop. Ext. Serv. Phoenix.

A P E N D I C E

Figura 1.
 DIAGRAMA PARA CLASIFICACION DE LAS
 AGUAS PARA RIEGO.

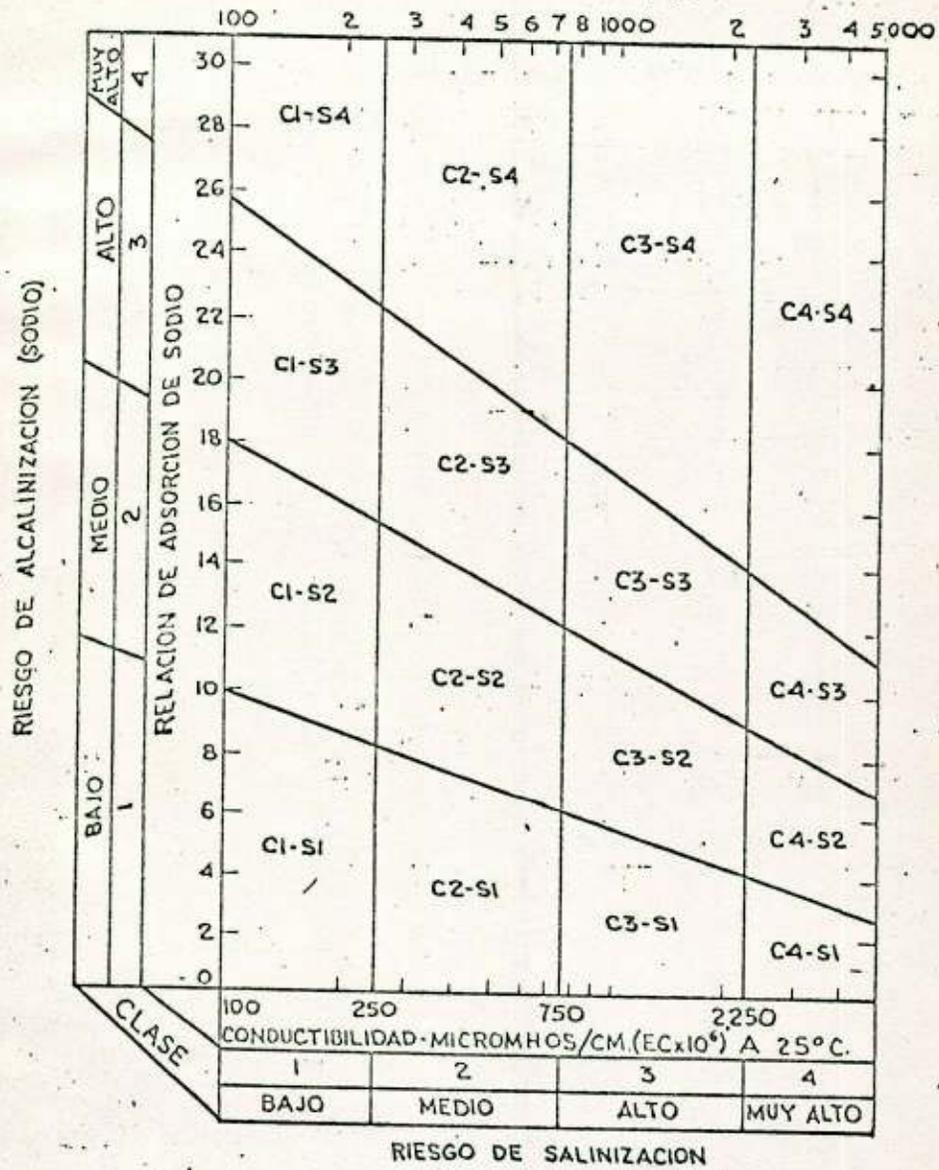


Tabla 1. Resultados de los análisis de las muestras de agua de los diferentes pozos de la zona del Carmen, Costa de Hermosillo.

No. Pozo	p.H.	O.S. en Mmhos./ ^o C	Dm S.D.T.	Req./Lts. Ca + Mg	Req./Lts. Ca.	Req./Lts. Mg.	Req./Lts. Na.	Req./Lts. CO ₃	Req./Lts. HCO ₃	Req./Lts. SO ₄	Req./Lts. Cl.	FAS	FSI	For. Sal/ Ha. a 30 cm.
S-1	7.6	600	394	2.744	1.028	1.666	3.236	---	4.180	0.063	1.188	2.8	2.8	1.3
S-2	7.5	700	458	1.960	0.686	1.224	5.040	---	4.370	0.062	2.277	5.09	5.8	1.5
S-3	6.1	600	436	1.764	0.728	0.665	4.235	---	3.990	0.063	1.267	4.5	5.1	1.4
S-4	7.7	800	604	0.686	0.588	0.098	7.314	---	6.080	0.062	1.881	12.6	14.2	5.4
S-9	7.3	2500	1615	5.488	3.038	2.450	20.512	---	3.230	0.064	19.107	12.4	14.5	5.4
S-10	7.9	2500	1566	2.352	2.254	0.098	23.648	---	3.040	0.065	18.117	21.9	23.7	5.4
S-11	7.4	2500	1616	6.664	3.822	2.842	19.335	---	3.515	0.065	21.780	10.6	12.5	5.2
S-12	7.5	2600	1574	5.104	3.920	1.274	20.806	---	3.420	0.063	19.008	12.9	15.0	5.2
S-13	7.5	2400	1409	14.504	8.624	5.880	17.434	---	1.900	0.065	17.127	9.6	11.4	4.2
S-14	7.3	2500	2310	1.764	0.980	0.784	11.496	---	3.800	0.063	8.910	4.2	4.2	3.1
S-15	7.9	1150	700	18.620	13.132	5.488	9.736	---	3.325	0.062	20.790	10.4	12.3	2.3
S-16	7.1	2800	2356	11.956	8.620	3.136	10.044	---	3.800	0.064	15.840	4.1	4.5	2.7
S-17	7.3	2200	1498	6.375	3.430	2.945	17.625	---	4.180	0.062	17.127	9.9	11.7	4.4
S-18	7.2	2400	1410	11.368	5.488	5.880	8.632	---	4.275	0.060	13.968	3.6	3.8	4.4
S-19	6.8	2000	1324	4.018	1.960	2.058	4.482	---	4.180	0.061	3.564	3.1	3.2	4.6
S-20	7.0	850	490	4.900	2.156	2.744	17.100	---	3.040	0.062	12.820	10.9	12.8	4.4
S-21	7.8	2200	1484	6.272	4.606	1.662	15.728	---	2.850	0.061	15.741	8.8	10.2	4.5
S-22	7.4	1600	1012	4.802	2.450	2.352	11.168	---	3.135	0.062	11.880	7.2	7.6	3.4
S-23	7.6	850	606	3.136	1.764	1.372	5.364	---	3.090	0.062	10.395	4.2	4.6	2.7
S-24	7.3	1900	1256	8.528	4.312	4.212	10.474	---	3.040	0.060	2.079	5.0	5.7	2.0
S-25	6.0	900	620	3.528	2.234	1.438	5.472	---	3.605	0.062	1.485	4.1	4.5	2.0
S-26	7.2	1500	886	2.842	1.754	1.078	10.298	---	3.040	0.060	2.524	6.7	7.8	2.9
S-27	7.4	900	526	2.842	1.666	4.900	6.864	---	2.755	0.061	17.127	5.4	6.2	1.9
S-28	7.9	2450	1542	9.898	4.998	1.470	14.602	---	2.945	0.062	19.008	5.4	6.2	1.9
S-29	7.9	1000	1854	3.136	2.940	2.842	22.218	---	3.040	0.060	20.295	13.0	15.1	5.9
S-30	7.4	2800	1854	5.722	3.724	4.018	18.268	---	2.755	0.062	20.592	9.2	10.9	5.9
S-31	7.3	2600	1776	7.840	3.626	4.214	21.660	---	2.090	0.063	20.592	10.9	12.9	5.9
S-34	7.2	2950	1766	7.840	3.430	4.116	21.454	---	2.850	0.061	22.473	11.1	13.1	5.9
S-35	7.8	2900	1838	9.546	4.312	5.390	20.298	---	2.850	0.063	17.820	10.5	12.4	5.9
S-36	7.8	3000	2006	7.538	2.842	4.695	20.462	---	3.040	0.063	13.959	10.0	11.8	5.8
S-37	7.8	2800	1750	8.538	1.960	4.312	17.728	---	3.040	0.063	13.959	10.0	11.8	5.8
S-38	7.8	2400	1424	8.538	1.960	4.312	17.728	---	3.040	0.063	13.959	10.0	11.8	5.8

Fig.	P.H.	G.M. en Members.	ppm S.D.T.	Req./Lbs. Ca + Ig	Req./Lbs. Ca	Req./Lbs. Ig	Req./Lbs. Fe	Req./Lbs. Co ₃	Req./Lbs. HCO ₃	Req./Lbs. SO ₄	Req./Lbs. Cl	PAS	TSI	For. Sol./Ha d. 30. cm.
7020	7.6	1100	674	1.754	1.274	0.400	9.236	---	4.940	0.000	6.270	9.2	11.2	2.2
3-49	7.9	1200	1058	2.044	1.472	1.472	14.056	---	3.135	0.009	12.100	11.6	13.6	3.5
3-50	7.9	1300	756	1.666	1.176	0.490	11.339	---	4.275	0.005	7.810	12.4	14.9	2.5
3-51	7.9	1900	1162	3.724	2.450	1.274	15.276	---	3.610	0.004	13.420	11.2	13.2	3.8
3-53	7.8	930	560	1.470	0.490	0.980	7.830	---	4.465	0.000	5.720	9.0	10.7	1.8
3-54	7.8	700	410	1.012	0.828	0.184	5.988	---	2.660	0.001	2.420	8.4	10.0	1.3
3-55	7.7	600	1050	2.028	1.872	0.552	14.972	---	3.325	0.002	13.750	14.8	16.3	3.5
3-56	7.7	1300	338	0.828	0.644	0.184	5.172	---	3.205	0.001	3.740	8.1	9.6	1.1
3-57	7.7	1000	892	1.568	0.920	0.648	11.432	---	4.275	0.003	6.930	13.3	16.5	2.2
3-58	7.4	1000	674	1.568	0.920	0.648	8.432	---	5.035	0.003	4.290	9.5	11.4	2.2
3-59	7.4	1300	828	2.574	1.288	1.288	10.426	---	5.035	0.003	6.160	8.2	10.9	2.3
3-60	7.5	1100	696	2.116	1.472	0.644	8.884	---	2.735	0.001	5.500	8.7	10.3	2.1
3-61	7.5	960	574	1.568	1.470	0.098	8.032	---	4.065	0.005	5.170	0.3	11.0	1.9
3-62	7.9	900	642	1.274	1.882	0.392	8.226	---	3.610	0.005	3.520	10.2	12.1	2.1
3-67	7.7	1000	616	1.568	2.024	0.000	9.424	---	2.945	0.005	3.390	8.8	11.6	2.0
3-68	7.5	1200	842	2.576	2.024	0.552	10.780	---	2.945	0.005	10.890	8.3	11.6	2.8
3-69	7.5	1400	848	3.220	2.300	0.920	14.944	---	2.735	0.003	9.790	8.7	10.0	2.8
3-70	7.3	2200	1402	7.056	3.082	3.234	17.572	---	3.895	0.000	18.260	8.2	9.8	4.7
3-72	7.4	800	534	1.288	1.196	0.214	6.712	---	3.800	0.000	2.860	8.5	9.8	1.7
3-73	7.8	2600	1654	8.428	4.214	4.214	17.572	---	4.275	0.000	20.900	8.5	10.1	5.5
7372	7.4	500	242	3.328	2.352	0.980	12.668	---	3.705	0.000	6.640	13.5	15.7	2.8
75086	7.6	1400	864	1.866	1.372	0.290	12.334	---	3.705	0.000	9.350	13.5	15.7	2.8
7020	7.6	1900	1112	4.324	2.944	1.380	17.676	---	2.660	0.000	12.760	12.0	14.1	3.7

