

ESTADO DE SALINIDAD DEL ACUIFERO DE LA COSTA  
DE HERMOSILLO Y ALGUNOS CONCEPTOS SOBRE LA  
INTRUSION SALINA

TESIS

Sometida a la consideración de la  
Escuela de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

por

Jorge Cristópulos Granillo

Como requisito parcial para obte-  
ner el título de Ingeniero Agróno  
mo especialista en Ingeniería Agrícola.

Junio de 1966.

## 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

	Pag.
INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES SOBRE LA ZONA ESTUDIADA.....	3
Clima.....	4
Origen.....	5
Mantos acuíferos.....	6
Distrito de Riego No. 51.....	7
LITERATURA REVISADA.....	9
Evaluación cuantitativa de la extensión de la intrusión salina.....	10
Distinción entre las sales innatas del agua, sales residuales en el agua e intrusión del agua salada.....	14
Calidad del agua.....	15
Clasificación.....	20
Sodio.....	21
MATERIAL Y METODOS.....	24
Registro de muestras en el laboratorio.....	25
Análisis de las muestras.....	25
Relación de adsorción de sodio.....	27
RESULTADOS.....	28
Configuración de las curvas de sales totales..	28
Análisis efectuados en 1965.....	29
Estudio del pozo 19-02.....	31
Estudio del pozo 49-13.....	33
DISCUSION.....	35
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	41
Zona del Carrizal.....	43
Calle 28 Sur.....	44
RECOMENDACIONES.....	47
BIBLIOGRAFIA.....	49
APENDICE.....	51

## INDICE DE CUADROS, GRAFICAS Y PLANOS

		Pag.
Cuadro 1.	Clasificación de las aguas de Irrigación según Scofield.....	28
Gráfica 1.	Variación de la calidad del agua extraída en el pozo 19-02 en las primeras 96 horas.....	32
Gráfica 2.	Aumento de cloruros en el agua del pozo No. 49-13.....	apéndice
Gráfica 3.	Aumento de salinidad del agua del pozo No. 49-13.....	apéndice
Gráfica 4.	Diagrama para clasificación de las aguas para riego.....	apéndice
Plano 1.	Curvas de sales totales en los mantos acuíferos, hasta junio de 1964, en el Distrito de Riego No. 51, Costa de Hermosillo, Sonora.....	apéndice
Plano 2.	Curvas de sales totales en los mantos acuíferos, hasta junio de 1965, en el Distrito de Riego No. 51, Costa de Hermosillo, Sonora.....	apéndice
Plano 3.	Curvas de cloruros en p.p.m. de los acuíferos, hasta junio de 1964, en Distrito de Riego No. 51, Costa de Hermosillo, Sonora.....	apéndice
Plano 4.	Curvas de cloruros en p.p.m. de los acuíferos, hasta junio de 1965, en Distrito de Riego No. 51, Costa de Hermosillo, Sonora.....	apéndice
Plano 5.	Plano general del Distrito de Riego No. 51, Costa de Hermosillo, Sonora..	apéndice

## INTRODUCCION

Las aguas para riego ya se derivan de corrientes su perfciales o se extraigan de pozos profundos, llevan en solución ciertas substancias químicas que han sido di-sueltas de las rocas o suelos por los que han pasado. La concentración y la naturaleza de estas substancias di sueltas determinan la calidad de agua desde el punto de vista de su empleo para el riego.

Un buen análisis químico de un agua para riego permite identificar las substancias más importantes que lle-va en solución y muestra la concentración de cada una. A la vista de dicho análisis se puede clasificar el agua en relación con su posibilidad de empleo para el riego y prever con cierta exactitud los efectos que tendrá el agua en cuestión sobre las plantas cultivadas y sobre los suelos; por lo tanto, es indispensable en todo Dis-trito de Riego efectuar análisis de agua con regularidad para determinar las calidades de agua con que se cuenta. ✓

Por otro lado, se tiene que en los Distritos de Rie-go que explotan aguas subterráneas y están cercanos al mar, debido al abatimiento de los acuíferos, puede pre-sentarse la intrusión del agua salada; este fenómeno, se considera como la usurpación de los confines del agua te rrestre por el agua de mar a lo largo de areas costeras y en mantos acuíferos limitados o en contacto con el agua salada, en los cuales la carga piezométrica ha de-

crecido por debajo del nivel del mar debido al bombeo excesivo de los pozos.

Si los materiales de la barrera continental, situados bajo el nivel del mar son permeables, habrá una entrada de agua de mar para equilibrar la presión hidrostática entre ésta y el agua dulce; si la barrera continental contiene material impermeable y algunos pozos acusan alta salinidad, pero sin mostrar avances que pudieran ser debidos a la intrusión salina, se buscará en otras causas esta contaminación de dichas aguas.

El propósito de este trabajo consistió en presentar un panorama del estado de salinidad y calidad de las aguas para riego de los pozos del Distrito de Riego de la Costa de Hermosillo y tratar de determinar si hubo intrusión salina en los mantos acuíferos. La necesidad de este estudio surgió por el constante abatimiento de los niveles del manto acuífero el cual ha sido hasta mayor de cuatro metros anuales, y al aumento de salinidad de las aguas de algunos pozos.

Existe la necesidad de determinar las causas y los efectos de estos cambios sobre la calidad de las aguas y, consecuentemente, la influencia que pudieran tener éstas en la productividad de los cultivos. Teniendo un panorama de la calidad del agua por regiones, es posible programar con la debida oportunidad la resolución a cada uno de los problemas que se pudieran presentar en los

cultivos y en los suelos.

#### ANTECEDENTES SOBRE LA ZONA ESTUDIADA

El Distrito de Riego No. 51 de la Costa de Hermosillo ocupa la porción media occidental del Estado de Sonora, entre los paralelos  $28^{\circ}54'$  Norte y los meridianos  $111^{\circ}00'$  y  $112^{\circ}30'$  al Oeste de Greenwich. Su ubicación geográfica se localiza al Oeste de las grandes cordilleras continentales.

Se halla delimitado por una poligonal que tiene los siguientes vértices: Cúspide del cerro Tepopa, situado en el litoral del Golfo de California, cumbre del cerro Anacoretas, cima del cerro del Burro, centro del poblado denominado Puerto Cornelio, cortina de la Presa de Hermosillo, cima del cerro Villa de Seris, carretera Guaymas-Hermosillo, hasta el poblado La Palma, parte más elevada de Loma Colorada, altura mayor del cerro La Bocana, costa sur de la Bahía Tastiota y litoral del Golfo de California. Finaliza este perímetro en la cumbre del cerro Tepopa, origen del mismo (Plano No. 5).

La Costa de Hermosillo es una ampliación e intercomunicación de los valles del río Sonora y Bacoachi: El Valle del río Sonora al poniente de Hermosillo, se halla medianamente encajonado hasta la sierra de Siete Cerros, a partir de la cual se abre para formar una gigantesca planicie costera de relieve muy suave en el que la máxima pendiente es de 0.28 por ciento.

La planicie construída por los acarreos del río Sonora se confunde con la formada por el río Bacoachi. Esta última arteria fluvial nace en la parte norte de la Costa de Hermosillo y desciende muy ramificada hacia el Golfo de California (Plano No. 5).

Aunque el río Bacoachi no tiene régimen permanente, en los meses lluviosos aporta grandes caudales de agua que se aprovechan en algunas siembras de temporal, habiendo ocasiones en que llega a inundar en forma laminar los terrenos del fraccionamiento Guerrero y la Playa de Noriega para desembocar finalmente en el estero próximo al fraccionamiento Padre Kino, sobre el Golfo de California.

#### Clima

La posición geográfica de la planicie costera de Hermosillo define de inmediato un ambiente semidesértico con flora y fauna altamente especializada.

La temporada de verano se inicia normalmente en el mes de abril para finalizar en octubre.

La temperatura media en abril es de 21°C. que gradualmente se eleva hasta alcanzar en el mes de julio 33°C. En este lapso descrito se presentan las máximas evaporaciones diarias, de 8 mm. en abril hasta 11 mm. en junio; también ocurren las máximas temperaturas que han llegado hasta 46° en julio. Suceden en este mismo lapso las máximas precipitaciones medias mensuales, correspon-



diendo a julio 40 mm. a agosto 65 mm., a septiembre 14 mm. y, a octubre, 18 mm.

Desde el mes de noviembre hasta marzo, el clima es agradable, pues el invierno no es riguroso y la temperatura media oscila entre  $14^{\circ}$  y  $18^{\circ}\text{C}$ . con lluvias menudas y de larga duración, prodentes de nubes estratificadas; estas lluvias reciben el nombre de "equipatas".

Según datos de la Secretaría de Recursos Hidráulicos obtenidos en 7 estaciones meteorológicas distribuidas en la región, se tiene en la porción central de la Costa una lluvia anual de 175 mm. En las cerranías cercanas a Hermosillo llega a 250 mm. con una tendencia ligera a disminuir hacia el Golfo de California donde las lluvias en promedio llegan a ser hasta de 150 mm.

Debe agregarse que las mayores lluvias ocurren entre julio y agosto y algunas veces en septiembre, en forma de aguaceros torrenciales de poca duración y en sectores relativamente pequeños.

Por otra parte, tenemos que la evaporación media anual en la planicie costera es de 2797 mm.

Según los datos anteriores, el resultado es: una evaporación mayor que la precipitación, un alto promedio anual de temperatura y una estación seca prolongada; todo lo cual coincide con las características de un clima semidesértico.

#### Origen

La región agrícola de Hermosillo es una llanura cos

tera formada por el acarreo de las partes más altas de esta provincia fisiográfica. Dichos acarreos se llevaron a cabo a través de toda la red hidrográfica, estando actualmente contribuyendo con sedimentos los ríos Sonora y Bacoachi y pequeños arroyos que carecen de nombre.

Actualmente la intercomunicación y ampliación de los valles de estos dos últimos ríos son los que forman la Costa de Hermosillo cuya superficie se calcula en 12,400 km. cuadrados, con una pendiente máxima de 2.80 m. por kilómetro.

De los numerosos arroyos que se pierden en la planicie antes de llegar al mar, destaca el arroyo de La Poza, cuyo escurrimiento anual se calcula en 20 o 25 millones de metros cúbicos que permiten regar hasta 2,500 hectáreas en la zona del Gorguz.

#### Mantos Acuíferos

Se ha calculado, basándose en los datos de niveles existentes, que la extracción total del manto desde 1944 a 1963 ha sido de 10,400 millones de metros cúbicos, lo cual ha traído consigo un descenso del acuífero en su porción central de 26 m., de tal manera que en la mayor parte de la zona agrícola los niveles estáticos se establecen bajo el nivel del mar, favoreciendo la intrusión salina. Aunque a la fecha, esta última no se ha manifestado en la zona agrícola, debe considerarse la posibilidad de que pueda presentarse.

Debido a que las infiltraciones consecuentes de los

riegos que se practican en los campos agrícolas, no permiten recuperar el manto acuífero, hecho demostrado por las estadísticas que se llevan desde 1954 en 80 pozos de riego y 11 registradores automáticos de nivel que operan desde 1958, debe pensarse que se está aprovechando fundamentalmente una reserva fácil de agua que debe explotarse científicamente y obtener de ella la máxima utilidad para prolongar y sostener la economía de la región de Hermosillo.

En virtud de que deben cuidarse y limitarse las extracciones del manto, según disposición Presidencial de diciembre de 1954, quedaron suspendidas todas las perforaciones de pozos, estando aun vigente dicha disposición.

En lo que se refiere a las extracciones actuales, hay que vigilar constantemente la calidad de las aguas de cada uno de los 483 pozos existentes para determinar la intrusión salina, si es que se llega a presentar y remediar este problema oportunamente.

#### Distrito de Riego No. 51

Este Distrito de Riego No. 51 ocupa como ya lo anotamos anteriormente, la región agrícola llamada Costa de Hermosillo o Fraccionamiento Presidente Miguel Alemán V. y se caracteriza dicho Distrito por ser uno de los pocos en que se utilizan para su irrigación los mantos acuíferos subterráneos, por medio de pozos profundos que fluctúan entre los 100 y 270 m. de profundidad, con tubería de descarga con diámetro de 0.305 m., 0.254 m., 0.2032 m.,

y 0.152 m.; existiendo en mayor número los que tienen diámetro de 0.254 m. y en menor número los de diámetro de 0.2032 m. y 0.152 m. y en una cantidad intermedia los de 0.305 m. Existe un total de 483 pozos para uso agrícola, los cuales irrigan aproximadamente 124,000 hectáreas en cada ciclo agrícola. En el ciclo 1963-64 solamente operaron 455 pozos con una extracción de 1,136,000.000 de metros cúbicos.

Los gastos por pozo fluctúan entre los 80 a 160 litros por segundo, operando cada uno de estos pozos aproximadamente 300 días en el ciclo, extrayendo en conjunto del manto acuífero aproximadamente 4,000,000 de metros cúbicos diarios.

## LITERATURA REVISADA

## La intrusión salina

El problema de la intrusión de agua salada no es un problema que se presenta en muchas áreas costeras donde un volumen de agua es extraída de formaciones permeables en contacto con el agua de mar. Las relaciones generales entre el agua dulce y el agua salada a lo largo de las costas marinas, fueron precisamente determinadas a través de los trabajos de investigadores europeos. Sin embargo, sus conclusiones han sido aplicadas a muchas costas en otros lugares del mundo. En la Península de Florida, aunque la intrusión de agua salada ha existido siempre en el área costera del Estado, ello se convirtió en un problema solamente en los pasados 25 años. Este incremento en el grado y extensión de la intrusión de agua salada se ha debido directamente al crecimiento de las municipalidades y a prácticas más extensivas de irrigación, habiendo contribuido todas estas razones a incrementar la demanda de reserva de agua dulce. En algunas localidades estas actividades han provocado una intrusión salina aguda siendo necesario abandonar pozos salados para buscar mejores abastecimientos de agua (17).

Cuando los daños producidos por la intrusión de agua salada resultaron evidentes, el Geological Survey, United States Department of the Interior y The Florida State Geological Survey, tomaron a su cargo investigacio

nes que fueron comenzadas en diferentes áreas locales alrededor de 1930. Las investigaciones más exhaustivas emprendidas en los Estados Unidos fueron iniciadas en el sureste de la Florida en virtud de la presencia de agua salina del mar que había en los pozos de los campos de Miami durante el año de 1939. Las investigaciones incluyeron estudios intensivos de las condiciones en las cuales las aguas saladas usurpaban el lugar de las aguas dulces, en las áreas de Miami (9).

Evaluación cuantitativa de la extensión  
de la intrusión salina:

Si bien, la composición del agua de mar varía ligeramente debido a la dilución en la desembocadura de las corrientes superficiales y manantiales submarinos, un promedio de la composición del agua de mar dado por Dittmar es aceptado como un criterio; establece que una composición promedio del agua de mar contiene en mayor proporción los cationes magnesio (1,304 ppm) y sodio (10,707 ppm) y los aniones sulfato (2,693 ppm) y cloruro (19,352 ppm) teniendo una cantidad total de sólidos disueltos de 35,012 ppm; por otro lado tenemos que la composición promedio del agua de un pozo es más abundante o contiene más el catión calcio (124.5 ppm) que el magnesio, y el anión bicarbonato (393.5 ppm) con un total de sólidos disueltos de 468 ppm.

De tal manera, se puede deducir que una agua de mar

siempre tendrá un contenido mayor de magnesio y cloruros que un agua dulce, ya sea ésta de río o de pozo.

Stringfield, y otros (17), efectuaron estudios sobre criterios u opiniones para poder acusar presencia de intrusión salina de agua de mar dentro del agua dulce. Algunos de estos criterios son: 1) Relación Calcio/Magnesio = 3, 2) Relación Sulfato/Cloruro = 7, 3) Incremento en el contenido de Cloruros, 4) Conductibilidad eléctrica.

Las relaciones 1 y 2 señaladas, están invalidadas por los diferentes procesos de cambio. Los cambios en la composición de la mezcla de agua de pozo-agua de mar no son comparables para explicar las modificaciones del agua de mar en la tierra o a través de sedimentos marinos o estuarinos por las siguientes razones:

- a). A causa del catión o base de cambio.
- b). A causa del cambio de aniones o reducción del sulfato.
- c). A causa de la solución de yeso y la subsecuente precipitación del calcio en pH altos.
- d). A causa de la precipitación del agua normal del mar saturada con carbonato de calcio, que después de la reducción de los sulfatos es convertido a carbonato por condiciones de alto pH.

Love (17) encontró que la composición del agua terrestre contaminada con el agua del mar, difería considerablemente de aquella composición de una simple mezcla

de agua terrestre y agua de mar para el área de Miami, siendo más rica en iones calcio y más pobre en iones sodio y magnesio que aquellas reportadas por otros investigadores. En las intrusiones salinas estudiadas a dos millas de la costa en suelos de arcilla o coloides orgánicos saturados, con respecto a los iones magnesio y sodio, intercambiados con ión calcio, observó que el magnesio y el sodio eran eliminados por inundación.

Las nuevas intrusiones estudiadas dieron resultados opuestos, ya que presentaron durante las sequías un movimiento hacia la tierra del agua del mar, que parecía provocar un cambio del ión calcio absorbido por la arcilla o coloides orgánicos para iones de magnesio y sodio del agua del mar. Durante los períodos de lluvias, un movimiento hacia el mar del agua salina, dió resultados inversos.

No fueron encontrados cambios de aniones, según los valores actualmente computados de los iones cloruro, sulfato y bicarbonato, tanto en las mezclas de agua dulce con el agua del mar, como en las muestras de agua terrestre contaminada.

Matson y Sanford (17) notaron desde los primeros estudios que en algunas aguas terrestres salinas del Estado de Florida, el ion calcio estaba en exceso sobre el ion magnesio, mientras que en el agua del mar el magnesio estaba en exceso respecto al ion calcio.

Stringfield (17) observó que todos los pozos de la



península de la Florida que producen agua relativamente alta en contenido de cloruros, están en áreas relativamente próximas a la costa, excepto los de algunas áreas limitadas con Sanford y otras vecindades y unos pocos pozos profundos barrenados en investigaciones sobre suelo y agua. También es notable que la carga artesiana en el área de cloruros altos es menor que la carga en el área más lejana, tierra adentro, donde el contenido de cloruro es bajo.

También recomienda hacer análisis periódicos del contenido de cloruros del agua de ciertos pozos y al mismo tiempo observar la carga de estos pozos para descubrir cualquier futuro incremento en el contenido de cloruros con futuros decrementos de la carga.

Un grupo de investigadores mantiene otros criterios, pero Revelle (17) del Scripps Institute of Oceanography, ha mostrado que de todos los iones mayores que se presentan en el agua de mar, solamente el ion cloruro no es afectado por los procesos de cambio. Los incrementos en el ion cloruro son, no obstante, los indicadores más relevantes de los primeros estados de la intrusión salina de agua salada en el agua terrestre. Además, el ion cloruro puede ser determinado simple y rápidamente y ha sido seleccionado para usarse en estas investigaciones para determinar el avance o extensión de la intrusión de agua salada.

En resumen: Un incremento en el contenido de cloru-

ros y un decrecimiento en la carga piezométrica (hidráulica) en los acuíferos de agua dulce, son las mejores indicaciones para sospechar intrusión de agua salada. Los cloruros no están sujetos a los fenómenos o cambios de oxidación y reducción a que están sometidos otros iones.

Distinción entre las sales innatas del agua, sales residuales en el agua e intrusión del agua salada.

Es importante distinguir entre sales innatas en el agua, sales residuales y sales procedentes de la intrusión salina.

La distinción entre sales innatas y sales residuales depende, principalmente, del tiempo de deposición y concentración salina.

Las aguas innatas o congénitas son de concentración salina permanente formadas una vez que la deposición tuvo lugar debido a las invasiones marinas antiguas. El contenido de cloruro puede ser varias veces el de la propia salinidad del agua de mar.

Las aguas residuales son aquellas que contienen los residuos dejados en las formaciones de valles jóvenes, inundados por las marinas más recientes. Sin embargo, la salinidad de las aguas con sales residuales es, usualmente, menor que aquélla de las aguas salinas innatas, debido a que estas formaciones recientes han sido principalmente lavadas por el agua terrestre.

### Calidad del Agua

En los primeros estudios, la clasificación de la calidad del agua se basaba principalmente en la concentración total de sales del agua en partes por millón. Generalmente, los constituyentes de la sal se clasificaban como álcali blanco (sales neutras) o álcali negro (sales alcalinas cáusticas). En el caso de álcali blanco, las aguas se consideraban buenas si contenían menos de 1000 partes por millón de sólidos solubles totales; las aguas que contenían más de 2000 ppm. de sal, se clasificaban como muy inferiores. Cualquier concentración apreciable de álcali negro en el agua la hacía inservible para el riego (18).

Debido a la seguridad y facilidad de las determinaciones, la conductibilidad eléctrica ha llegado a ser el procedimiento normal para la determinación de la sal total en las aguas de riego y, aunque se ha aceptado casi universalmente como patrón de medida de la calidad del agua, ha habido muchas variaciones en los valores de la conductancia que deben definir las diferentes clases de agua.

Thorne y Thorne propusieron cinco clases para la determinación de la calidad del agua entre los límites de: 0-750, 750-1750, 1750-3000, 3000-5000 y de más de 5000 micromhos/cm. (19).

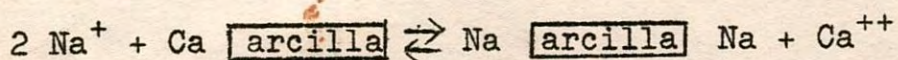
Chistensen y Lyerly utilizaron cinco clases de agua, con límites de conductibilidad de 0-1200, 1200-2400,

2400-4000, 4000-6000 y más de 6000 (1).

Las tendencias actuales indican que deben añadirse más clases al sistema del Laboratorio de Salinidad de los E.E.U.U. o continuará el uso de clasificaciones especiales en determinadas zonas (18).

Los sólidos disueltos en un agua pueden estimarse a partir de la conductibilidad eléctrica en micromhos/cm, para aguas de riego dentro del margen de 100 a 5000 micromhos/cm. (21).

Los cationes intercambiables de los coloides del suelo están en equilibrio con los iones de la solución del suelo. Es aparente, por lo 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, de acuerdo con la reacción siguiente:



Kelley, Brown y Liebing (8) propusieron que el problema del sodio en las aguas de riego podría determinarse con seguridad tomando como base la relación  $\text{Na}/(\text{Ca} \times \text{Mg})$ , con concentraciones expresadas en equivalentes por millón; cuando las relaciones exceden de 1, las acumulaciones de sodio tienden a convertirse en problema.

Wilcox propuso un diagrama para clasificar el agua en 5 clases basado en la conductibilidad eléctrica y en los porcentajes de sodio. Las divisiones entre los gru-

pos de porcenje de sodio se determinaron mediante cálculos basados en la ecuación del efecto de masa de Gapon para que tuviera los porcentajes de sodio que produjeran porcentajes determinados de sodio intercambiable en la arcilla del suelo, cuando las soluciones y la arcilla es tuvieran en equilibrio (23).

El diagrama de Wilcox fué modificado por Thorne para obtener una clasificación que tuviera 5 clases para sal y 5 para el peligro creciente de la adsorción de sodio (19).

En 1953, el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos propuso la relación de adsorción de sodio (R.A.S.) como un criterio más seguro para determinar el peligro del sodio en el agua, siendo ésta:

$$\text{R.A.S.} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} \times \text{Mg}^{++})/2}}$$

Esta relación se basa en las ecuaciones de cambio de cationes del tipo de efecto de masa (Gapon, 1933) y, teóricamente al menos, está más relacionada con los porcentajes de sodio intercambiable que los simples valores de los porcentajes de sodio (18).

El diagrama propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (1953) para clasificar las aguas de riego basado en la relación entre la conductibilidad eléctrica y la adsorción de sodio, pero modificado para las clases con elevados contenidos de sal, se mues-

tra en la Gráfica No. 3. Las líneas que dividen a las clases basadas en las relaciones de sodio/adsorción son empíricas y están basadas en resultados de pruebas efectuadas en invernaderos y en el campo. Con la escala de la conductibilidad eléctrica y la relación de adsorción de sodio como coordenadas, se puede localizar el punto correspondiente en el diagrama (21).

Las aguas de riego con frecuencia contienen boro en concentraciones tóxicas. Ningun cultivo tolera más que unas cuantas partes por millón de boro; pero otros como el frijol son muy sensibles y los cultivos como la remolacha azucarera soportan varias veces más que el frijol. Un agua que contiene dos partes por millón de este elemento, con el tiempo generalmente causa molestias a muchos cultivos (16).

Donde se cultivan frutales, los iones de cloruro y de sodio pueden ser tóxicos, provocando que se quemen las hojas y se dañen severamente los frutos. No se han establecido límites definidos para la clasificación de aguas en las zonas fruteras, tomando como base el contenido de estos iones; sin embargo, las concentraciones mayores de 10 ppm. de cualquier ion producen con frecuencia tostaduras severas en las hojas (18).

Tomando como base las observaciones sobre el riego con aguas del Nilo y del Eufrates, Eaton sugirió que los carbonatos y bicarbonatos podían tener un efecto directo sobre la calidad del agua, a través de la precipitación

del calcio y del magnesio, aumentando, por tanto, el porcentaje de sodio. Esta reacción puede favorecerse por el secado de los suelos que contienen soluciones con contenidos elevados de iones de bicarbonato y calcio (3).

No se ha investigado completamente la importancia que tienen los bicarbonatos al aumentar la alcalinización del suelo y las acumulaciones de cal que lo acompañan. Los estudios hechos en el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (1935) con suelos en macetas en invernadero, regados con agua y sales de composición variable, acusaron aumentos evidentes en los porcentajes de sodio intercambiable, cuando los suelos se regaban con agua que contenía 5 y 2.5 ppm. de carbonatos residuales sin que escurriera mucha agua de las macetas. Sin embargo, en condiciones de campo pueden contribuir muchos factores para disminuir los efectos de los iones de bicarbonato.

Los estudios de laboratorio y de campo han llevado a la conclusión de que las aguas con más de 2.5 meq/l de carbonato de sodio residual no son adecuadas para fines de riego. Las aguas que contienen de 1.25 meq/l son marginales y las que contienen menos de 1.25 meq/l con probablemente satisfactorias. Se cree que un buen tratamiento del suelo y el uso de un mejorador adecuado puede permitir el empleo de aguas clasificadas como marginales en los riegos. El término "Carbonato de sodio residual" (CSR) que fué propuesto por Eaton, está definido por la

siguiente ecuación:

$$CSR = (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^{\equiv}) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$$

en la que las concentraciones están expresadas en meq/l (16).

Cuando se utilizan aguas muy saladas se pueden evitar las acumulaciones de sal más fácilmente si los suelos son muy permeables. Los suelos arenosos no solo son permeables, sino que también admiten mayores porcentajes de sodio sin que adquieran malas características físicas; por esto es posible que con más frecuencia se usen aguas de calidad inferior en los suelos arenosos que en los suelos arcillosos. Una fuente de calcio que pueda disolverse en la solución del suelo contribuye a disminuir la relación de adsorción de sodio de la solución y, por tanto, ayuda a evitar la alcalinización; en consecuencia, siendo igual los demás factores, los suelos que contienen cal son los más seguros cuando se usan aguas con mucho sodio que los que no la contienen; al mismo tiempo, los suelos que tienen yeso libre son también más seguros generalmente, que los que contienen solamente cal (18).

#### Clasificación

Consideramos aguas con baja salinidad a las que tienen un grado de conductibilidad que varía de 0.100 a 0.250 mmhos/cm. Las aguas de salinidad moderada son aquellas que tienen una conductibilidad de 0.250 a 0.750 mmhos/cm. Las de mediana a elevada salinidad son aque-



llas que acusan una conductibilidad que varía de 0.750 a 2.250 mmhos/cm.; de muy alta salinidad son todas las que pasan de 2.250 mmhos/cm.

Las aguas que consideramos con baja salinidad (C-1) son aquellas que pueden usarse para riegos en la mayoría de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo, con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Si se necesita algún lavado, éste se logrará en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

Las aguas con salinidad moderada (C-2) pueden usarse para riego de todas las plantas menos de las más sensibles; cuando se cultivan en suelos de baja permeabilidad habrá que hacer la selección de plantas de mediana tolerancia. Generalmente, se lavarán lo suficiente con la manera ordinaria de regar.

Las aguas de salinidad media a elevada (C-3) deben usarse solamente en los suelos de permeabilidad moderada a buena. Se necesitarán cuidados especiales para el control de la salinidad y deberán elegirse plantas con tolerancia de salinidad moderada a buena. El agua con salinidad elevada (C-4) puede usarse para riego solamente en los suelos de buena permeabilidad y cuando se den lavados especiales para eliminar el exceso de sal. Solo deberán establecerse cultivos tolerantes a las sales.

#### Sodio

La clasificación de las aguas para riego con respec

to a la relación de adsorción de sodio, se basa fundamentalmente en el efecto del sodio intercambiable sobre las condiciones físicas del suelo. Sin embargo, las plantas sensibles al sodio pueden sufrir daños como resultado de la acumulación de sodio en los tejidos, aún cuando los valores del sodio intercambiable sean menores que los que pueden causar alteraciones en las condiciones físicas del suelo.

Agua con contenido bajo de sodio (S-1). Puede usarse para el riego de casi todos los suelos con poco riesgo de que llegue a contenidos perjudiciales de sodio intercambiables. Sin embargo, las plantas sensibles al sodio como los frutales de fruto seco y el aguacate, pueden acumular concentraciones perjudiciales de sodio.

Agua con contenido medio de sodio (S-2). Ofrece un riesgo apreciable de salinización en los suelos de textura fina con alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente cuando el lavado es poco intenso, a menos que exista yeso en el suelo. Estas aguas pueden usarse en los suelos de textura gruesa y en los suelos orgánicos, siempre que tengan buena permeabilidad.

Agua con contenido elevado de sodio (S-3). Puede producir acumulaciones de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos y requiere un tratamiento especial del suelo: buen drenaje, lavado intenso y aplicaciones de materia orgánica. Los suelos yesosos pueden no llegar a concentraciones perjudiciales de sodio intercam

biable cuando se aplica este tipo de agua. Las enmiendas químicas pueden ser necesarias para sustituir el sodio intercambiable, pero estas enmiendas no son aplicables en el caso de que las aguas sean muy salinas.

Agua con contenido de sodio muy alto (S-4). En general, es inadecuada para fines de riego, salvo en los casos de salinidad baja o quizá media, en los que la solución de calcio del suelo o el empleo de yeso u otros enmendadores pueda hacer factible el uso de estas aguas.

Algunas veces, el agua de riego puede disolver suficiente calcio en los suelos calizos para reducir apreciablemente el riesgo de daños de sodio. Esto debe tomarse en cuenta cuando se usan aguas de tipos Cl-S4. En los suelos calizos con pH elevado o en los suelos no calizos, las aguas clasificadas en los grupos Cl-S3, Cl-S4 y C2-S4, pueden emplearse agregando yeso al agua. Igualmente, puede ser ventajoso agregar yeso al suelo periódicamente, cuando se usan aguas C2-S<sub>3</sub> y C3-S2 (21).

## MATERIAL Y METODOS

Como un análisis detallado de un agua requiere tiempo y es costoso, debe cuidarse de que la muestra represente bien a la corriente o al pozo de donde se tome. Las muestras de agua de pozo deben tomarse después de haber estado el pozo funcionando durante algún tiempo. Conviene usar como recipientes para las muestras, frascos de vidrio con tapón de corcho o de hule. Las muestras deben enviarse al laboratorio inmediatamente después de haberse obtenido.

Para llevar a cabo este trabajo se procedió a tomar muestras de agua de cada uno de los pozos que existen para irrigación en este Distrito, procediéndose de la siguiente manera:

Se dividió la zona agrícola en 7 sub-zonas destinándose a cada una de ellas una brigada formada por dos hombres y un vehículo; se tomó como centro de operaciones el campo de "Santa Fé", ubicado en la Calle 20; cada brigada estuvo equipada con suficientes frascos para tomar muestras de las aguas de los pozos que abarcaba su zona.

## Procedimiento para tomar las muestras

Como primer paso se adquirieron 500 frascos con capacidad de un litro con sus respectivos tapones, se lavaron y se enjuagaron con agua destilada para evitar contaminación; después se dotó a cada brigada con un número suficiente de ellas, además de etiquetas que contenían

los datos siguientes: a) Nombre del predio, b) Propietario, c) Número de pozo, d) Horas de bombeo, e) Fecha de muestreo y f) Firma del jefe de la brigada que tomó la muestra.

Una vez equipadas dichas brigadas procedían a tomar de la descarga del pozo un poco de agua para enjuagar el frasco, después se llenaba, se cerraba y se colocaba la etiqueta con todos los datos pertinentes escritos en ella; si el pozo no se encontraba trabajando, se procedía a hacerlo funcionar y se dejaba que estuviera bombeando agua aproximadamente una hora o más tiempo, en el cual la brigada se dedicaba a tomar otros datos inherentes al Distrito de Riego; una vez terminado lo anterior, se recogía la muestra de la manera que señalamos anteriormente.

#### Registro de muestras en el Laboratorio.

Las muestras se encontraban en el centro de operaciones y eran trasladadas al Laboratorio; al llegar a éste se anotaban en el libro de registro que contiene los siguientes datos: 1) Número de muestra de Laboratorio, 2) Fecha de llegada, 3) Número de pozo y 4) Nombre del predio.

#### Análisis de las muestras

En el laboratorio se procedió al análisis de las muestras determinándose pH, conductibilidad eléctrica, total de sólidos disueltos, calcio + magnesio, sodio,

carbonato, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y R.A.S. (relación adsorción de sodio. Los cloruros se determinaron por titulación con nitrato mercurio  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 0.002\text{N}$ , usándose como reactivos  $\text{HNO}_3$  y difenil carbazona, debido a que con este método se aprecia mejor el vire al titular, no sucediendo lo mismo con el método de Mohr o sea por argentometría, donde al titular está presentándose un precipitado en el que es un poco difícil observar el vire, a menos que se efectúe por una persona con experiencia en estas determinaciones.

Sólidos Disueltos. Son una indicación de la cantidad total de materia llevada en solución por el agua. Se determinan evaporando hasta desecación completa una muestra del agua filtrada y pesando el residuo.

Valor pH. Expresa la intensidad de la acidez a la alcalinidad del agua. La escala varía desde 0 (fuerte acidez), pasando por 7 (neutra) hasta 14 (fuerte alcalinidad).

Cationes. El calcio, el magnesio, el sodio y el potasio son los cationes que suelen encontrarse en concentración significativa en las aguas para riego. El calcio, el magnesio y el potasio son elementos nutritivos esenciales para las plantas. El sodio es absorbido fácilmente por muchas plantas, pero no es esencial y puede ser sumamente tóxico para algunas especies.

Aniones. Los aniones más importantes que se encuentran en las aguas para riego son: carbonato, bicarbonato,

sulfato, cloruro y nitrato. El azufre y el nitrógeno son elementos nutritivos esenciales para las plantas y son convenientes. El ion cloruro en grandes concentraciones no es conveniente, pues es tóxico para algunas plantas.

Carbonatos. Las aguas con carbonatos son muy alcalinas, las aguas con bicarbonato sólo lo son moderadamente. La cantidad total y las proporciones relativas de estos iones determinan en alto grado la alcalinidad total y el valor pH de un agua. En las aguas que contienen altas concentraciones de estos iones existe cierta tendencia a que el calcio y, posiblemente el magnesio, se precipiten en forma de carbonatos, cuando el agua se concentra por la transpiración y la evaporación. Al extraerse calcio y magnesio de la solución del suelo, aumenta la proporción relativa de sodio y, por lo tanto, el riesgo de alcalinización.

#### Relación de adsorción de sodio (R.A.S)

El peligro de sodificación que entraña el uso de un agua de riego, queda determinado por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación; pero si predominan el calcio y el magnesio, el peligro es menor. Los suelos sódicos se forman por acumulación de sodio intercambiable y con frecuencia se caracterizan por su baja permeabilidad y difícil manejo.

## RESULTADOS

Con las muestras analizadas en el mes de junio de 1964 y una vez hechas todas las determinaciones, se procedió a formar un plano mostrando curvas de igual nivel de contenido de sales totales disueltas. Las sales se reportaron en partes por millón y se clasificaron de acuerdo con el siguiente Cuadro de Scofield.

Cuadro No. 1 Clasificación de las aguas de irrigación según Scofield.

Clase de Agua	Concentración de Sales Totales en P.P.M.
1ra. clase o muy buena	Menor de 175
2da. clase o buena	175 a 525
3ra. clase o tolerable	525 a 1400
4ta. clase o dudosa	1400 a 2100
5ta. clase o inútil	Mayor de 2100

Configuración de las curvas de Sales Totales.

En el plano de localización de pozos en el Distrito de Riego No. 51, se fué anotando su contenido de sales totales en el agua que se extrae de cada uno de ellos; una vez terminadas dichas anotaciones, se procedió a con formar las curvas, uniendo para ello los pozos con igual cantidad de sales totales o haciendo interpolaciones entre éstos para fijar el punto de paso de curva, con un intervalo entre curvas de 100 a 200 partes por millón



(Ver plano No. 1).

Configuración de las curvas de contenido de cloruros.

Se procedió a determinar las partes por millón de cloruros en cada una de las muestras de agua, anotándose en el plano de localización de pozos del Distrito de Riego No. 51. Se configuraron después las curvas de la misma manera que se hizo para el punto anteriormente citado, usándose un intervalo de 50 a 100 partes por millón entre curvas.

Una vez configuradas estas dos clases de curvas se pasaron por separado a un plano donde se aprecia el litoral y la red de caminos del Distrito de Riego, pero sin mostrar la localización de los pozos.

Para facilitar la interpretación del plano de sales totales, una de las curvas se fijó con unión de puntos de 525 partes por millón, que es uno de los límites que fijó Scofield en su Tabla donde marca la transición de agua buena a agua tolerable, conteniendo la mayor curva 1300 partes por millón, ya que ésta corresponde a la mayor concentración de sales encontradas en el agua de dos pozos, los cuales por un pequeño margen se conservan en la clasificación de agua tolerable.

Análisis efectuados en enero de 1965

Con los resultados de estos análisis se procedió de la misma manera que con los hechos en 1964 y se conformaron también planos con curvas de sales totales y cloru

ros. En este segundo muestreo se pudo observar que la curva máxima de contenido de sales totales disueltas en el agua llegó a 2300 partes por millón, la cual ya entra en la clasificación de inútil.

En los planos que presentan las curvas de sales totales y cloruros en partes por millón, correspondientes a los años de 1964 y 1965, se observa que existen 4 zonas donde las sales totales disueltas en el agua llegan a pasar de 525 partes por millón, o sea, agua de tercera clase o tolerable. Dichas zonas se localizaron como sigue: 1ra. Zona de El Carrizal, 2da. Final de la Calle 28 Sur, 3ra. Final de la Calle 4, 4ta. Zona cercana a Hermosillo.

Las mayores concentraciones de sales se presentaron en las aguas de los pozos de la zona de El Carrizal habiendo algunas con concentraciones hasta de 1300 partes por millón de dichas sales; también se presentó esta situación al final de la Calle 28 Sur habiendose observado en el agua de un pozo una concentración de 2400 partes por millón de sales totales y 1200 ppm. de cloruros. Estas dos zonas son las más afectadas por la acumulación de sales en sus aguas.

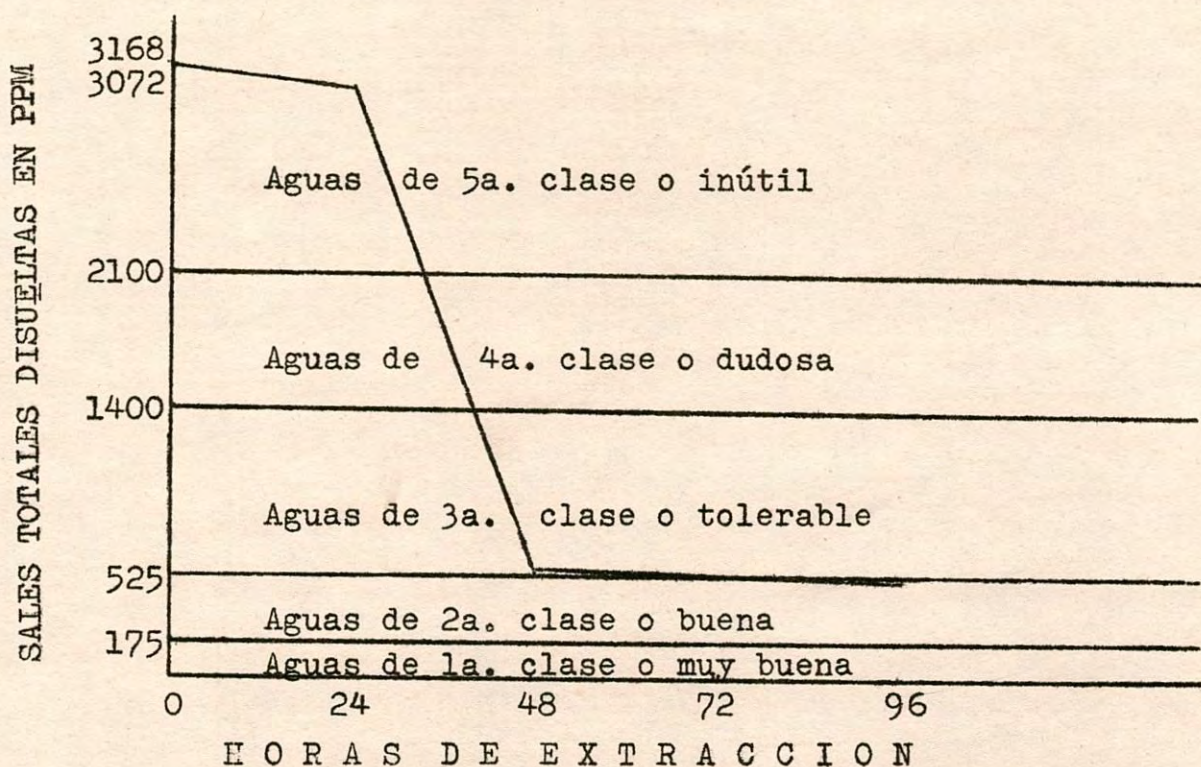
Se observó también que en la zona de El Carrizal, al empezar a extraer agua de los pozos resulta de mala calidad debido a su alto contenido de sales, pero después de 24 o 36 horas de extracción, el agua pasa a ser de buena calidad. Existen otros pozos que mantienen la

calidad de su agua en 3ra. clase o tolerable. Sin embargo, esta situación afecta únicamente al 8% de las tierras en cultivo de este Distrito; es decir, se riegan con agua tolerable, habiendo solo un pozo que contiene agua clasificada como inútil. Por otra parte, el 92% restante de las tierras en cultivo se irrigan con agua de buena calidad. En general, las aguas se encontraron bajas en contenido de sodio.

Para completar estos resultados se llevó a cabo un estudio de pozos situados en las zonas más afectadas, siendo estos los pozos Nos. 19-02 y 49-13; los resultados se explican a continuación.

#### Estudio del Pozo 19-02

Se verificó un estudio después de haber permanecido 15 días en reposo. Consistió en tomar muestras del agua que extrae, tomándose la primera al iniciarse el bombeo y las siguientes cada 24 horas, hasta completar un número de 5 muestras. Se obtuvieron los resultados que se muestran en la Gráfica No. 1.



GRAFICA No. 1 VARIACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EXTRAIDA EN EL POZO No. 19-02 EN LAS PRIMERAS 96 HORAS.

Como se puede observar en la Gráfica anterior, al iniciarse la extracción el agua de este pozo presenta alta salinidad, estando según la clasificación de Scofiel dentro de las aguas de 5ta. clase o inútil; 24 horas después el agua sigue siendo de la misma calidad. A las 48 horas su calidad ha mejorado, pues su concentración de sales ha disminuído y así continúa decreciendo hasta que se establece su calidad en la clasificación de 2da. clase o buena en la cual están la mayoría de las aguas del Distrito de Riego No. 51.

Es de notarse que muchos de los pozos situados en la zona de El Carrizal presentan estas mismas caracterís

ticas; es decir, agua de muy alta salinidad y alta en so dio las primeras 24 horas de extracción después de un re poso; pero a medida que aumenta el tiempo de bombeo el agua va tornando a una mejor calidad; también existen po zos en esta zona donde el agua no mejora con la extrac- ción, conservándose su calidad en 3ra. clase o tolerable. También es notable que en esta zona, en pozos más cerca- nos al mar, el agua es de buena clase.

#### Estudio del pozo 49-13

Este pozo se comenzó a observar periódicamente en el mes de marzo de 1964, encontrándose su agua clasificada como de 3ra. clase o tolerable con una concentración de sales totales de 1280 partes por millón y 624 de clo- ruros; esta última concentración representó el 48.75% de el total de sales. En el mes de diciembre de ese mismo año aumentó la concentración de sales totales, de tal manera que su calidad de agua pasó a 5ta. clase o inútil, según Scofield. Se observó que el aumento de sales era debido casi exclusivamente al ion cluroro, conservándose los demás en una concentración más o menos estable. A partir de la fecha anteriormente citada, se procedió a efectuar un análisis mensual del agua de este pozo, dan- do como resultado que el aumento de cloruros fué constante, ya que alcanzó hasta más de 1300 partes por millón. Esto representó el 50.79% de las sales totales y, por lo tanto, la concentración de sales totales también resultó

mayor. La concentración de éstas se estabilizó en el mes de abril de 1965, sucediendo que en el mes de mayo del mismo año presentó un ligero descenso en la concentración de cloruros.

Cuando el agua de este pozo aumentó su concentración de sales, se presentó también un aumento de las mismas en el agua de dos pozos, el 48-02 y el 49-14 no siendo en éstos el aumento tan alarmante como en el que ocupa, pues la calidad de estos últimos llegó a ser hasta de 3ra. clase o tolerable con una concentración de sales totales de 1100 a 1200 ppm. y una concentración de cloruros de 300 ppm. en sus períodos más críticos. En el mes de abril y mayo presentaron un descenso notable, tanto en su concentración de sales totales, como en cloruros o sea que se comportaron de una manera más o menos semejante al 49-13; sin embargo, como ya se dijo anteriormente los descensos de concentración de sales fueron más notables y sus aguas fueron clasificadas en 2da. clase o buena, lo cual se puede observar en los planos Nos. 1 y 2.

## DISCUSION

Debido al constante abatimiento del manto acuífero del Distrito de Riego No. 51 y siendo esto uno de los factores que influyen en la intrusión del agua salada del mar a los mantos de agua dulce, se procedió a estudiar la calidad de las aguas de riego de cada uno de los pozos que existen en este Distrito para tratar de establecer, al mismo tiempo, el origen de la salinidad del agua en aquellos que presentan las mayores concentraciones.

Se encontraron pozos en los que, al empezar a extraer agua, ésta era de mala calidad, pero después de 24 o 36 horas dicha calidad pasó a ser buena, pudiéndose observar que el origen de la salinidad al iniciar el bombeo era debido a la aportación de las corrientes o mantos superficiales, que son los únicos que aportan agua a dichos pozos cuando éstos se encuentran reposando; los mantos inferiores no lo han hecho debido a que se ha establecido un equilibrio entre éstos y la presión hidrostática producida por la carga de agua almacenada en el pozo. Debido a esto, es de suponerse que las aportaciones de agua de los mantos superiores, que son los que siguen llenando los pozos, aumenten la concentración de sales en el agua que contienen. No obstante, una vez que se inicia la extracción, las corrientes inferiores ya libres dan su aportación de agua buena, contrarestando así

la salinidad de las corrientes superiores, ya que las aportaciones de agua de estas últimas son mínimas y no llegan a perjudicar, con sus sales, la cantidad total de aguas que se extrae.

Se consideró que en la zona donde se encuentran estos pozos, las corrientes o mantos superficiales traen en solución sales que han recogido a su paso por evaporitas o depósitos de sales que se formaron hace miles de años al retirarse del continente las aguas del mar. En los desniveles del terreno se formaron lagos o lagunas de diferentes dimensiones cuyas aguas, al evaporarse quedaron convertidas en depósitos de sales de forma lenticular; estos fueron cubiertos por el acarreo de materiales de los ríos y numerosos arroyos. quedando los más recientes en la superficie donde aún se les puede observar. Como ejemplo se tiene la llamada Laguna o Playa de Noriega que se localiza al oeste del Fraccionamiento Guerrero y noroeste de la zona de El Carrizal. Este es el mayor depósito de sales que se localizó superficialmente, ya que mide aproximadamente 12 kilómetros de largo por 4 kilómetros de ancho. Anualmente se llena de agua debido a las aportaciones del río Bacoachi y a varios arroyos de esa zona; al filtrarse el agua lleva en solución una gran cantidad de sales, las cuales van a dar a las corrientes superficiales del acuífero y al seguir el flujo de este hacia El Carrizal perjudica a los pozos situados en esa zona, de la manera que anteriormente se explicó.



Existen pozos en la zona de El Carrizal que, aún cuando la extracción de agua ya se haya establecido en ellos, la concentración de sales varía muy poco debido a que el origen de su salinidad reside en que al perforarse estos pozos, pasaron a descansar sobre una evaporita o depósito de sales formado sobre arcillas o gravas y arenas. De esta manera, el agua que abastece a estos pozos al pasar por tales formaciones, disuelve y arrastra cierta cantidad de sales solubles que son las que determinan la calidad de esa agua, que puede ser mejorada con la aplicación de yeso.

En esta zona de El Carrizal se puede descartar la intrusión salina o sea la entrada de agua de mar al acuífero, debido a que los pozos situados entre estas zonas y el mar y con una profundidad más o menos igual, no presentan problemas de sales en sus aguas. Además, su contenido en cloruro es bajo, llamándose "aguas residuales" porque contiene los residuos dejados dentro de formaciones jóvenes de valles inundados por las marinas más recientes.

Al final de la Calle 28 Sur, se observó una situación distinta ya que el contenido de sales de algunos pozos (y de uno en particular) fué aumentando constantemente desde el mes de junio de 1964, hasta el mes de mayo de 1965 cuando registró un ligero descenso en su contenido de cloruros, no así en sus sales totales.

Es de tomarse en cuenta el aumento de cloruros del

pozo 49-13 situado en esta región, debido a que es uno de los principales indicios de que se está presentando la intrusión salina del agua del mar a los acuíferos de agua dulce; por lo tanto, aquí se puede sospechar que es té sucediendo tal caso a través de uno de los cauces sepultados o subterráneos de la red hidrográfica que existió en la Costa de Hermosillo y por donde es más factible que esto suceda, debido a la falta de barrera impermeable que se presenta en estas partes, entre el continente y el mar.

También debe considerarse que, si se está presentando la intrusión salina, no sucedió esto de un año para otro, sino que se fué efectuando gradualmente al paso de los años y a través del cauce sepultado. Es posible que se presenten descensos en el contenido de cloruros en el agua del pozo afectado debido a que, en ciertas épocas del año cuando el acuífero esté recargado (y esto puede suceder en los meses lluviosos o cuando las extracciones en la región sean mínimas a causa de la poca demanda de agua por los cultivos) el agua salada y la zona de difusión entre ésta y el agua dulce se muevan hacia el mar. El resultado es un descenso de cloruros en las aguas de los pozos afectados; pero una vez pasada esta situación se volverá a tener el aumento de dicho ion ya que, al de crecer la carga del acuífero, el agua salada se volverá a introducir por la parte más baja para que después, al ser diluída esta agua de mar en la zona de difusión, se

presente otra vez un flujo hacia el mar. Se forma así un ciclo como se presentó en el acuífero de Biscayne en el sureste de Florida, según estudios de Kohout (9).

En resumen, no porque se presenten descensos de cloruros en ciertas épocas del año, se presumirá que no hay intrusión del agua del mar, ya que ésta entra hacia la tierra por la parte más baja del acuífero y al ser diluída asciende para formar un flujo hacia el mar, volviendo a empezar el ciclo anteriormente descrito.

También es de hacerse notar que el agua de este pozo situado al final de la Calle 28 Sur, a pesar de su aumento de sales y principalmente del ion cloruro, presentó un índice de alcalinidad bajo; es decir, según su relación de adsorción de sodio (R.A.S), se clasificó en  $S_1$  o sea agua baja en sodio con pocas probabilidades de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Posteriormente, pasó a la clasificación  $S_2$  o sea media en sodio.

Deben considerarse también, ya que estas aguas, altas en cloruros se están usando para irrigación, los efectos tóxicos que tiene este ion o sus sales sobre los cultivos. Cabe advertir que las concentraciones moderadas de cloruro de calcio son altamente tóxicas para árboles con frutos o endocarpio duro. Parece ser que esta toxicidad se halla asociada con una acumulación de cloruros en las hojas, más pronunciada en presencia de un exceso de iones calcio que de iones sodio; se ha encontrado que los cloruros son tóxicos al durazno; se han reportado "quem-

duras" por cloruros en nogales, cítricos, aguacate y vid. Es pertinente considerar si en la nutrición aniónica de las plantas los niveles altos de cloruros pueden interferir en la nutrición con el nitrógeno, fósforo o azufre, de igual manera que, como ya se ha observado, en presencia de un incremento de calcio disminuyen los efectos tóxicos, debido a las concentraciones elevadas de potasio y magnesio. Al disminuir aquél, resulta un aumento en la absorción de éstos. Algunos investigadores han dado importancia a la disminución en la disponibilidad de fósforo y nitrógeno en suelos calcáreos (18).

Debe hacerse hincapié en desechar la creencia errónea que existe de que un agua de un acuífero donde se presente la intrusión salina, necesariamente debe ser alta en su contenido de sodio. Revelle (17) y varios investigadores han mostrado que de todos los iones mayores que se presentan en el agua de mar, solamente el ion cloruro no es afectado por los procesos de cambio, de tal manera que este ion puede formar sales con otros cationes y presentarse en el agua perjudicada sin que necesariamente ésta sea alta en sodio; así pues, se muestra la razón de hacer la determinación de cloruros únicamente, sin relacionarlo con algún catión, ya que el incremento de ellos es el indicador mas relevante de los primeros estados de la intrusión salina del agua del mar en el agua terrestre.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

A partir del mes de mayo de 1964 se iniciaron en el Laboratorio de la Oficina de Ingeniería de Riego de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, los análisis de las aguas de cada uno de los pozos para irrigación que existen en el Distrito de Riego No. 51, de la Costa de Hermosillo. Para llevar a cabo dichos análisis se tomaron muestras de aguas directamente del tubo de descarga de cada uno de los pozos procurando que la extracción tuviera cuando menos 24 horas de establecida, con el fin de que no hubiera variación en el contenido de sales que, generalmente, es mayor al empezar la extracción. Las muestras se tomaron en botellas de vidrio de un litro de capacidad y se usaron tapones de corcho, cada una de ellas se etiquetó anotándose el número de pozo, nombre del predio, hora del muestreo y tiempo que tenía de establecida la extracción.

En el laboratorio se siguió un registro semejante y se llevó a cabo el análisis con respecto a salinidad de dichas aguas; las determinaciones se hicieron siguiendo las indicaciones del Manual de Agricultura No. 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, excepto los cloruros, los cuales se determinaron por titulación con nitrato mercuríco  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  0.002N, usándose como reactivos ácido nítrico y difenil carbazona.

Estas aguas se clasificaron según la Tabla de

Scofield y de Wilcox reformada por el Departamento de Salinidad de los Estados Unidos.

Al terminar dichos análisis se formó un plano mostrando las curvas de sales totales en el acuífero, tomando como base para ello el contenido en partes por millón de sales totales. Se anotaron en el plano donde están localizados los pozos como si fueran cotas de nivel para trazar un plano de curvas; el mismo procedimiento se siguió para formular el plano de contenido de cloruros. En el año de 1965 se llevó a cabo otro análisis de todas las aguas de los mismos pozos, haciéndose también los dos planos antes citados para llevar a cabo la comparación y observar si se presentaban aumentos o descensos en los contenidos de sales totales o cloruros.

Como el propósito de este trabajo fué observar el comportamiento del acuífero de la Costa de Hermosillo en cuanto a su contenido de sales totales y al ion-cloruro (que es determinante de la presencia de agua de mar en el manto acuífero continental), se concluyó lo siguiente:

Existen cuatro zonas donde las sales totales disueltas en el agua llegan e pasan de 525 partes por millón (cantidad que fija Scofield en su Tabla como límite de las aguas buenas). Dichas zonas son las siguientes:

1a. Zona de "El Carrizal", 2a. Zona final de la Calle 28 Sur, 3a. Zona final de la Calle 4, 4a. Zona localizada en las cercanías de Hermosillo en los límites de

la zona de riego de la Presa "Abelardo L. Rodríguez".

La parte restante de la Costa de Hermosillo, o sea más o menos el 92% de las tierras cultivables, son irrigadas por aguas de buena calidad o segunda clase, según la Tabla de Scofield, cuyo contenido de sales totales va ría de 175 a 525 partes por millón y  $C_2S_1$  según el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos.

Las mayores concentraciones de sales se presentan en la zona de "El Carrizal" donde algunos pozos acusan hasta 1300 partes por millón de sales totales y también al final de la Calle 28 Sur donde un pozo presentó una concentración de 2400 partes por millón de sales totales y 1200 partes por millón de cloruros en el análisis llevado a cabo en 1965 habiendo tenido dicho pozo un aumento de 1000 partes por millón de sales totales con respecto a 1964 y de 800 partes por millón de cloruro con respecto al año anterior. Se infiere que estas dos zonas son las más afectadas; sin embargo, también se puede decir que la salinidad de estas zonas proviene de fuentes distintas:

Zona de "El Carrizal". Muchos pozos extraen agua de mala calidad al empezar a trabajar; es decir, con gran cantidad de sales, pero después de 24 o 36 horas, cuando ya se ha establecido la extracción, el agua pasa a ser de buena calidad; su contenido de sales ha bajado hasta hacerse más o menos normal. Como segundo punto se tiene que en esta misma zona de "El Carrizal" hay pozos

que constantemente están extrayendo agua de calidad tolerable: de 525 a 1400 partes por millón de sales totales y, aún cuando el régimen de extracción se haya establecido, el agua continúa con la misma concentración.

Calle 28 Sur. Esta es una situación distinta donde el contenido de sales de algunos pozos y de uno en particular, ha venido en aumento desde el mes de junio de 1964, hasta el grado de no poder usarse para beber; por esa razón se clasifica como agua inútil para la irrigación por su gran contenido de sales. Además, se ha registrado un aumento considerable en el ion cloruro, siendo éste uno de los indicadores de la intrusión salina del agua del mar a los acuíferos de agua dulce; por lo tanto, aquí se puede sospechar que esté sucediendo dicho fenómeno, realizándose esta intrusión a través de uno de los cauces sepultados o subterráneos de la red hidrográfica que existió en la Costa de Hermosillo y por donde es más factible que esto suceda debido a la falta de barrera impermeable que se presenta en estas partes, entre el continente y el mar. Así mismo, se debe considerar que si se está presentando la intrusión salina, esto no sucedió de un año para otro, sino que se fué efectuando gradualmente al pasar de los años y a través del cauce sepultado.

Las otras dos zonas enumeradas anteriormente o sea la tercera y la cuarta e, inclusive, la zona de "El Carrizal", presentan pozos con agua que siempre contiene



la misma cantidad de sales totales con ligeras variaciones. Esos pozos extraen aguas que algunos autores clasifican como "aguas residuales" o sean aquellas que pueden presentar altas concentraciones de sales sin que por ello se sospeche que se esté presentando la intrusión salina. Estos pozos han sido perforados en partes donde e en los estratos inferiores presentan depósitos de sales formados hace miles de años por la evaporación de pequeños lagos o lagunas que quedaron al retirarse las aguas del mar del continente; estas formaciones llamadas también evaporitas, al ser atravesadas por la perforación y, consecuentemente por las corrientes de agua que forma la extracción, contienen aguas que llevan en solución gran cantidad de sales que han disuelto, a su paso por esas formaciones, que van a aumentar el contenido de sales de la extracción total del pozo.

Por otro lado, tenemos que algunos pozos de la Zona de "El Carrizal", al empezar su extracción, arrojan agua de mala calidad y después de 24 horas baja su contenido de sales hasta hacerse buena; esto se debe a que los mantos superiores están afectados regionalmente por depósitos de sales superficiales, como es el caso de la llamada "Playa o Laguna de Noriega" que se localiza al Oeste del Fraccionamiento "Guerrero" y Noroeste de la zona de "El Carrizal"; se presume que al llegar a esta laguna las aguas acarreadas por una pequeña red hidrográfica de la zona, sus infiltraciones consecuentes llegan a los

mantos superiores perjudicando posteriormente a los pozos antes citados.

En resumen, esta es la situación que presenta el acuífero de la Costa de Hermosillo, donde se deben adoptar medidas para tratar de evitar avances de las sales, al centro de la región donde los mantos presentan mayores abatimientos y son campos propicios para la intrusión salina del agua del mar; así mismo, debe determinarse con precisión si está sucediendo este fenómeno.

## RECOMENDACIONES

Para evitar problemas futuros en el acuífero y atacarlos a tiempo, se pueden sugerir los siguientes puntos:

- 1) Seguir haciendo análisis constantemente de todas las aguas para prevenir problemas a tiempo.
- 2) Perforar pozos de observación de pequeño diámetro cercanos al mar y en línea con los pozos con más concentración salina y observar como se comportan en cuanto a su calidad de agua, durante todos los meses del año.
- 3) Hacer exploraciones con isótopos radiactivos en los pozos de observación y tratar de encontrar las radiaciones de ellos en los pozos sospechosos para ver si efectivamente hay alguna corriente establecida entre éstos y el mar.
- 4) Hacer obras hidráulicas para aprovechar las aguas de la pequeña red hidrográfica de la Región de "Guerrero" y, al mismo tiempo, evitar que el agua aportada por estos arroyos y el Río Bacoachi vaya a terminar a la Laguna o Playa de Noriega y, por consiguiente, afectar los pozos de la Zona de "El Carrizal".
- 5) En los pozos donde se presentan corrientes salinas, determinar a que profundidad se encuentran éstas y sellarlas, ya sea con tubos ciegos o con inyecciones de cemento a presión.
- 6) Si se determina sin lugar a duda la intrusión salina,

sellar completamente los primeros pozos afectados y reponerlos en partes donde no hay concentraciones salinas considerables que afectan los abastecimientos del manto acuífero, dotando a los agricultores perjudicados de otras tierras que se encuentren ociosas por falta de agua.

- 7) En los pozos cuya agua sea alta en cuanto a su contenido de sodio, tratar de disminuir esta concentración con aplicaciones de yeso en el agua, por metro cúbico de extracción.

## BIBLIOGRAFIA

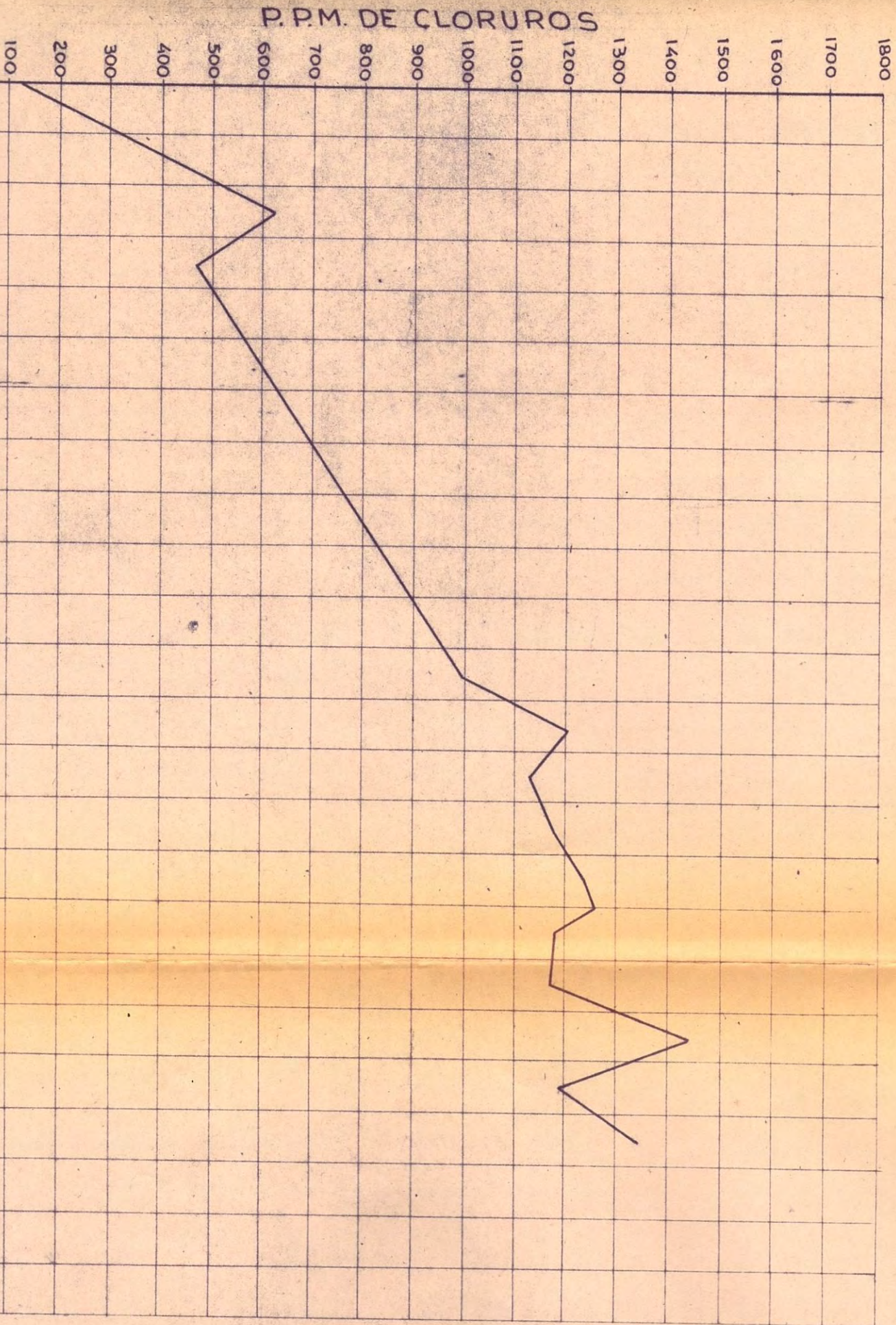
- 1) Christensen, P. D. y P. J. Lyerly. Water quality as it influences irrigation practices and crop production. (El Paso and Pecos Areas), Tex. Agr. Expt. Sta. Cir. No. 132) College Station, Texas 1952.
- 2) Doneen, L. D. Analyses of irrigation waters. Calif. Agriculture (Calif. Agr. Sta.) 4 (11); 6, 14 (1950).
- 3) Eaton, F. M. Significance of carbonates in irrigation waters. Soil Sci. 69:123-133 (1950).
- 4) Gapon, E. N. Theory of exchange adsorption in soils. J. Gen. Chem (U.S.S.R.) 3:114-152. (1933).
- 5) Huerta M. R. Apuntes de fertilidad del suelo, Calidad del agua de Riego. Hermosillo, Son. Méx. Escuela de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. 1964.
- 6) Jensen, M. C., C. L. Glenn, and G. O. Baker: Characteristics of irrigation waters in Idaho. (Idaho Agr. Wxpt. Sta. Bull No. 19) Moscow, Idaho, 1951.
- 7) Kelley, W. P. Cation exchange reactions, New York, Reinhold Publishing Corp., 1948.
- 8) \_\_\_\_\_, S. M. Brown, and G. F. Liebig, Jr.: "Chemical effects of saline irrigation water on soil, Soil Sci. 49:95-107 (1940).
- 9) Kohout F. A. Cyclic flow of salt water in the Biscayne aquifer of southeastern florida. Journal of Geophysical Research. Miami Florida. 65(7) 2133-2141. 1960.
- 10) McGeorge, W. T.: Influence of Colorado River silt on some properties of Yuma Mesa sandy soil (Ariz. Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. No. 91 Tucson, 1941.
- 11) Miller, M. R.: The quality of the water of the Humboldt river. Nev. Agr. Expt. Sta. Bull. No. 186 Reno, 1950.
- 12) Rohwer, C.: Putting down and developing wells for irrigation. U.S. Dep. Agr. Cir. No. 546 Wash-

- ington, D. C., 1940.
- 13) Scofield, C. S. The salinity of irrigation waters. E. U., Smithsonian Institute. 1953, 16 p.
  - 14) Secretaría de Recursos Hidráulicos. Archivo particular del Distrito de Riego No. 51 Hermosillo, Sonora. Méx.
  - 15) \_\_\_\_\_, Determinación de la calidad del agua para riego. Memorandum Técnico No. 157. México, D. F. 1960. 11 p.
  - 16) \_\_\_\_\_, Clasificación y uso de las aguas para riego. Memorandum Técnico No. 174, México, D. F. 1961. 10 p.
  - 17) \_\_\_\_\_, La intrusión salina. Memorandum Técnico No. 113 México, D. F. 1956. 15 p.
  - 18) Thorne D. W. y H. B. Peterson, Técnica de riego y explotación del suelo. Lepe, José Luis. México, D. F. Cía. Editorial Continental, S. A. 1963 496 p.
  - 19) Thorne, D. W., and J. P. Thorne: Changes in composition of irrigated soils as related to the quality of irrigation waters. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 1954.
  - 20) Thorne, J. P. and D. W. Thorne: The irrigation waters of Utah, their quality and use. Utah Agr. Expt. Sta. Bull. No. 346 Logan, 1951.
  - 21) U. S. Salinity Laboratory Staff Diagnosis and improvement of saline and alkali soil U. S. Dep. Agr. Handbook No. 60 Washington, D. C. 1953.
  - 22) Wilcox, L. V. The quality of water for irrigation use. U. S. Dep. Agr. Tech. Bull. No. 962 Washington, D. C., 1948.
  - 23) \_\_\_\_\_. Clasificación and use of irrigation waters. U.S.D.A. Washington U. S. Salinity Laboratory, 1955. Circular No. 989, p.
  - 24) Willcocks, W. Egyptian irrigation, 2nd ed. London, E. & F. M. Spon, 1899.

A P E N D I C E

AUMENTO DE CLORUROS  
EN EL AGUA DEL POZO N° 49-13

HERMOSILLO, SON., OCT. DE 1965.

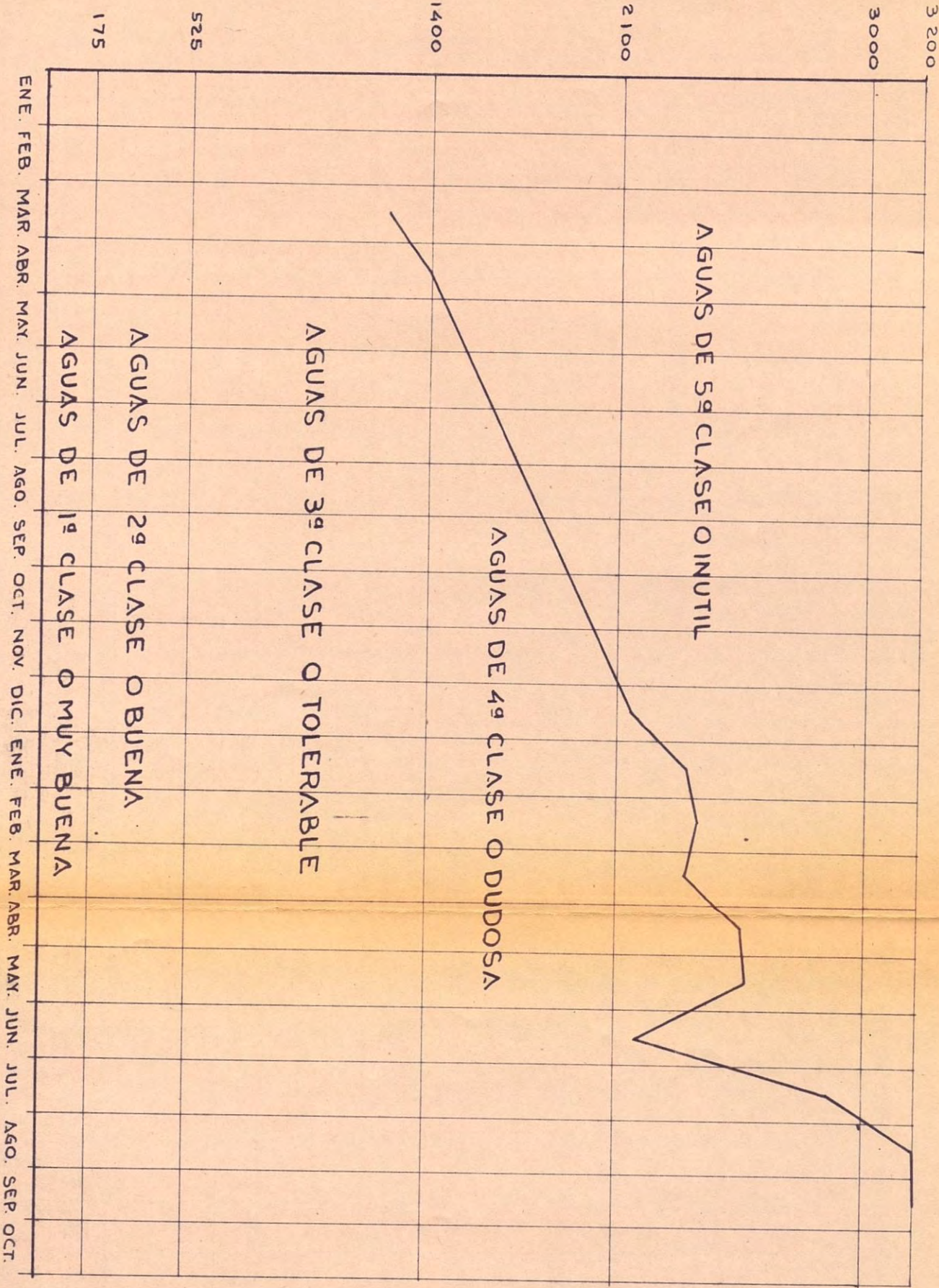




AUMENTO DE SALINIDAD  
DEL AGUA DEL POZO N° 49-13

HERMOSILLO, SON., OCT. DE 1965.

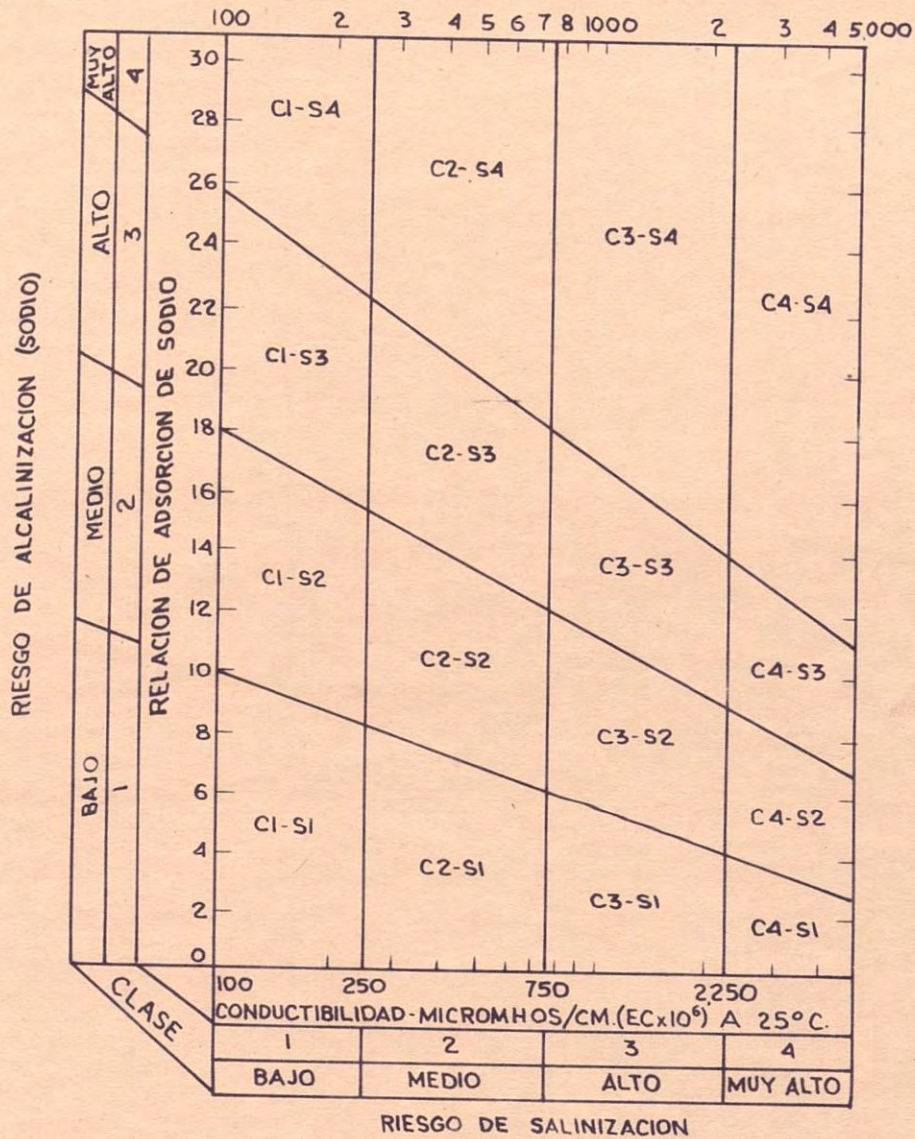
P.P.M. DE SALES DISUELTAS



1964

1965

# DIAGRAMA PARA CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO.



GRAFICA Nº 4