

ESTUDIO DE SUELOS AFECTADOS POR SALES EN UNA AREA  
DE BOMBEO CON POZOS PROFUNDOS EN EL  
VALLE DE MEXICALI

TESIS

Sometida a la consideración de la  
Escuela de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

por

Macedonio Escamilla Aviña

Como requisito parcial para obte-  
ner el título de Ingeniero Agrónomo  
especialista en Ingeniería Agrí-  
cola.

Mayo de 1967.

# 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

	Pag.
INTRODUCCION.....	1
LITERATURA REVISADA.....	3
MATERIAL Y METODOS.....	9
RESULTADOS.....	13
DISCUSION.....	25
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	28
BIBLIOGRAFIA.....	31
APENDICE.....	33



## INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Clasificación de las muestras de suelo atendiendo a la presencia de sales.....	14
Cuadro 2. Muestras con incremento positivo de la CE correspondientes al segundo muestreo de acuerdo con la profundidad.....	17
Cuadro 3. Muestras con incremento negativo de la CE correspondientes al segundo muestreo de acuerdo con la profundidad.....	17
Cuadro 4. Muestras con incremento positivo de la CE correspondientes al tercer muestreo de acuerdo con la profundidad.....	18
Cuadro 5. Muestras con incremento negativo de la CE correspondientes al tercer muestreo de acuerdo con la profundidad.....	19
Cuadro 6. Incremento positivo de la CE en el <u>ter</u> cer muestreo en relación al <u>primero</u> de acuerdo con la textura.....	20
Cuadro 7. Análisis químicos de las aguas de los pozos de bombeo.....	21
Cuadro 8. Gasto y volúmen total de agua extraída en los años de 1963 y 1964 en cada uno de los pozos profundos de bombeo.....	23
Cuadro 9. Análisis químico de suelos en el <u>extra</u> cto de saturación.....	41



## INTRODUCCION

El problema de la salinidad de las tierras agrícolas, ha sido considerado como el más importante y susceptible de presentarse en la agricultura irrigada de todos los países. Su control es de importancia si se desea tener una agricultura progresista, de lo contrario, el resultado será el abandono completo de las tierras afectadas.

La economía de las ciudades de Mexicali, B. C. y San Luis Río Colorado, Son., dependen exclusivamente de los cultivos agrícolas del llamado Valle de Mexicali. La superficie de dicho Valle es aproximadamente de 341,600 Has., correspondiendo la novena parte al Estado de Sonora y el resto al de Baja California. Del total anterior, se han venido cultivando alrededor de 170,000 Has. anuales, debido fundamentalmente al volumen limitado de agua que corresponde a México según el Tratado Internacional de las aguas del Río Colorado (1,850 millones de metros cúbicos anuales) y también a la limitación del volumen de agua que extraen los 625 pozos profundos de bombeo (1,047 millones de metros cúbicos anuales).

En esta área agrícola y como consecuencia de varios factores tales como características de los suelos, calidad del agua de riego y mal manejo del suelo y del agua, el problema de la salinidad ha alcanzado una proporción alarmante, lo cual quedó de manifiesto en el estudio de



salinidad de suelos que llevó a cabo el Departamento de Ingeniería de Riego y Drenaje de la Secretaría de Recursos Hidráulicos el año de 1965 en una superficie de 272,400 Has.; donde el total afectado por la salinidad alcanzó la cifra de 179,820 Has., considerándose en forma conservadora que en el área restante del Valle un 80% de los suelos contiene sales. Además, en los últimos años se ha venido observando una disminución en los rendimientos de los cultivos, debido principalmente a la salinidad de las aguas del Río Colorado, en el caso del algodónero, dicha reducción fué más marcada en la zona regada con agua del Río Colorado que en la de pozos profundos de bombeo, sucediendo lo mismo con los demás cultivos (2).

Dada la magnitud del problema, no solamente en el Valle de Mexicali sino también en otros Distritos de Riego, el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Recursos Hidráulicos se ha preocupado por la búsqueda de soluciones prácticas y efectivas del mismo, siendo el presente trabajo parte de una serie de ellos programados con tal fin.

El objetivo de este estudio es el de observar el comportamiento de la salinidad en una área de 1,600 Has. en el Valle de Mexicali, en la que se han establecido 7 pozos profundos de bombeo. De lo anterior, se derivarán conclusiones y recomendaciones aplicables a otros distritos de riego con características similares.



## LITERATURA REVISADA

Aún cuando la agricultura de riego no es un factor dominante en la producción agrícola del mundo, generalmente es base de la economía en regiones áridas y por ello es de gran importancia para un amplio sector humano (13). Su permanencia ha sido muy dudosa en muchas partes del mundo; sin embargo, ha habido éxito en otras como el Valle del Nilo y varias regiones de China, donde ha permanecido por más de 4,000 años (1).

En los E.U.A., más de la cuarta parte de las tierras de riego no producen abundantemente, debido a que los suelos están afectados por sales; siendo los problemas especialmente serios en 17 Estados del Oeste de dicho país, donde más de 2,834,000 hectáreas de riego están afectadas por la salinidad. Durante la década 1929-1939, más de 400,000 hectáreas se abandonaron debido a la acumulación de sal y sodio; actualmente, la mayor parte de esas tierras han sido recuperadas y puestas nuevamente en cultivo (15).

Un suelo afectado por sales es aquel en el que dichas sales se han acumulado lo suficiente como para reducir los rendimientos de los cultivos; incrementándose dicha salinidad el máximo potencial de rendimiento disminuye progresivamente. Por lo general, la producción de los cultivos llega a ser antieconómica y cuando la salinidad es muy severa las plantas dejan de crecer (9).



✓ Una costra blanca sobre la superficie del suelo nos indica salinidad, correspondiendo generalmente a sales de sodio, calcio y magnesio. Todas ellas tienen una propiedad en común, son solubles en el agua. Otras sales también presentes como cal (óxido de calcio) y yeso (sulfato de calcio) son sólo ligeramente solubles y no aumentan apreciablemente la salinidad del suelo (3).

El contenido salino de las aguas superficiales y subterráneas es muy variable, en éstas últimas su salinidad varía mucho en diferentes lugares de una misma área y a diversas profundidades. El agua usada para riego puede contener de 0.1 a 5 toneladas de sal por hectárea en una lámina de 30 cm. de agua (14). Una agricultura permanente depende en gran parte de un adecuado suplemento de agua de riego y de una calidad satisfactoria, en ambos casos, el éxito de la agricultura de riego depende de las prácticas de manejo tomando en consideración la calidad del agua disponible (9).

✓ La salinidad de los suelos origina tres grupos: Suelos Salinos, Salinos Sódicos y suelos Sódicos, necesitan dose en su rehabilitación prácticas de manejo especiales para cada grupo (14). 8)

Por capilaridad el agua se eleva de 0.6 a 1.5 metros y hasta más en el suelo por arriba del manto freático, dependiendo esto de la textura y estructura del suelo, así como de otros factores. El agua en la superficie se evapora dejando un depósito salino, común de los

37-618  
12  
57



suelos salinos; éstos suelos se originan como resultado de un alto nivel freático o por un drenaje restringido. Bajo ninguna circunstancia debe permitirse al nivel freático acercarse más de 1.5 ó 1.8 m. de la superficie del suelo (9).

La clasificación del agua de riego para determinar su calidad recomendada por el Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos se basa en cuatro criterios diferentes que son: Sólidos disueltos totales, sodio, boro y bicarbonatos (1). Wilcox, clasificó las aguas de riego de acuerdo a la conductividad eléctrica (CE) dada en micromhos por centímetro a 25°C, y a la relación de adsorción de sodio (RAS), estableciendo límites para ambos factores. Así, para la CE se forman cuatro clases de agua, cuyos puntos límites son: Agua con baja salinidad, de 0.0 a 250 micromhos/cm. a 25° C; agua de salinidad media de 250 a 750; agua de salinidad alta, de 750 a 2,250 y agua de salinidad muy alta, cuya CE es mayor de 2,250 micromhos/cm. a 25° C. Para el caso del sodio, la clasificación es la siguiente: Agua baja en sodio, su RAS, dada en miliequivalentes por litro, varía de 0.0 a 10; agua media en sodio de 10 a 18; agua alta en sodio, de 18 a 26 y agua muy alta en sodio, mayor de 26 (16).

La tolerancia de los cultivos a la salinidad varía ampliamente; algunos cultivos son tan sensitivos a las sales que, si se duplicara la concentración de sales de



un suelo normal, algunos cultivos como maíz y frijol se verían severamente perjudicados; otros cultivos como la remolacha, cebada y algodón toleran 10 veces más sal con poco o sin ningún perjuicio en su rendimiento. Además, se ha observado que la tolerancia a la salinidad varía en un mismo cultivo de acuerdo con su etapa de desarrollo (4).

El drenaje es uno de los más importantes factores para el mantenimiento de una alta productividad en las tierras de cultivo; sin embargo, pérdidas durante la conducción y aplicación del agua crean la mayoría de los problemas de drenaje en las áreas de riego. Los métodos de aplicación del agua a la tierra no permiten control absoluto y se puede perder de 40 a 60% por filtración profunda o eliminación en la superficie (5).

Diversos sistemas de drenaje han sido utilizados en el Oeste de los E.U., entre los más comunes se presentan el de cielo abierto, entubado y el de pozos de bombeo; de ellos el drenaje entubado ha alcanzado gran aceptación en los últimos años por su eficiencia (10,5).

El efecto de los pozos profundos de bombeo se ha apreciado desde los primeros años de su operación, lo que ha motivado la construcción e instalación de tales sistemas de drenaje. Estos pozos han sido utilizados en forma extensiva y sus posibilidades futuras parecen ser grandes, si se considera que el agua extraída podría ser utilizada con fines agrícolas u otros propósitos. Re-



cientemente, este sistema ha sido aplicado en otros países (India, Egipto, Argelia, Australia, etc.) con excelentes resultados; observándose una rápida recuperación de suelos afectados al permitir el descenso de las aguas subterráneas a cualquier nivel deseado (7, 8, 12).

Herrera (6), en un estudio realizado en la Costa de Hermosillo, donde operan 464 pozos profundos de bombeo, encontró pequeñas zonas afectadas con salinidad que en conjunto suman una área aproximada de 400 hectáreas, la suma anterior resulta insignificante comparada con el total de la superficie puesta en cultivo que es de 96,000 Has.. El manto freático se ha abatido a profundidades muy considerables y la calidad del agua de los pozos es aceptable para fines agrícolas.

Perez (11) en un estudio agrológico efectuado en el Valle de Mexicali en el año de 1957 concluyó: que el origen mineralógico de los suelos es indeterminado, pues éstos provienen de los detritus intemperizados de gran número de rocas, arrastrados desde lugares lejanos. Los suelos son aluviales, formados por deposiciones sucesivas de los materiales en suspensión y de arrastre que en grandes volúmenes transportaba el Río Colorado en su divagante trayectoria hacia el Golfo de California. Las Series de Suelos que se han encontrado en el valle son: "Imperial", "Holtville", "Gila Fase Pesada", "Gila Fase Ligera", "Meloland" y "Superstition". Una breve descripción de sus características se ha resumido en el Diagrama



No. 1 del apéndice.

Considerando que este estudio se llevó a cabo en el Valle de Mexicali, B. C.; una breve revisión de las características del mismo se expone a continuación: Según asienta Pérez (11) en su estudio, el Valle de Mexicali está comprendido dentro del Distrito de Riego No.14 del Río Colorado, aproximadamente entre los meridianos  $114^{\circ} 45'$  y  $115^{\circ} 40'$  al Oeste de Greenwich y entre los paralelos  $31^{\circ} 50'$  y  $32^{\circ} 40'$  de latitud Norte. La totalidad de las tierras de cultivo se localizan de 2 metros bajo el nivel del mar a 43 metros arriba de dicho nivel. La vegetación se caracteriza por especies vegetales silvestres típicamente xerofíticas; su clima es desértico, semicalido extremo y muy seco, con humedad deficiente en todas las estaciones del año. La precipitación media anual registrada es de 58 mm. con una evaporación anual extremadamente fuerte de 1930 mm. En este distrito el agua de riego utilizada es de origen subterráneo y gravedad. La presencia de salinidad en el área de cultivo ha hecho necesario el uso de sistemas de drenaje (Planos 1 y 2)\*

(\*) Planos proporcionados por el Distrito de Riego No.14 del Río Colorado, S.R.H.



## MATERIAL Y METODOS

El área donde se llevó a cabo este estudio se localiza en el Ejido San Luis Potosí, parte central y norte del Distrito de Riego No.14 del Río Colorado (Plano No.3). La superficie ocupada fué de 1,600 Has. en forma de cuadrado de 4,000 metros de lado, en la cual se construyeron pozos de observación del manto freático a cada 500 m., tanto en el sentido de las columnas como en el de las hileras; formándose así, 9 columnas nombradas con letras A, B, C, D, E, F, G, H, e I, y 9 hileras nombradas según la distancia progresiva en kilómetros a que se encuentra cada una de ellas partiendo de cero, formándose las hileras 0.000, 0.500, 1.000, 1.500, 2.000, 2.500, 3.000, 3.500 y 4.000 (Plano No. 4). El cruce de una columna con una hilera nos determina un pozo de observación, su identificación está dada por la letra de la columna y la hilera correspondiente. Los pozos perimetrales de la cuadrícula se hicieron a la profundidad de 6 m. los de la línea adyacente a 10 m y el resto a 15 m.. En esta forma se construyeron un total de 80 pozos.

Dentro de la cuadrícula mencionada se construyeron 7 pozos profundos de bombeo; uno de ellos se construyó exactamente al centro de la cuadrícula, o sea, en el cruce E-2.000, llamándosele "Pozo Central"; los 6 pozos restantes llamados "Pozos Satélites", localizados en forma exagonal aproximadamente a la misma distancia del Pozo



Central. Alrededor de cada pozo de bombeo se instalaron 5 pozos de observación del manto freático a distancias variables de 20, 40, 60, 80 y 100 m., todos ellos a la profundidad de 15 m.. La profundidad del Pozo Central es de 100.50 m., con tubería de descarga de 12 pulgadas (30.50 cm.) la profundidad de los Satélites varía de 43 a 50 m. con tubería de descarga de 8 pulgadas (20.32 cm.).

Junto a cada pozo de observación se tomaron 5 muestras de suelo a las profundidades de 0-20, 20-50, 50-100 100-150 y de 150-200 cm.. A cada sitio de suelo muestreado se le identifica con el nombre del pozo de observación correspondiente. De los tres muestreos llevados a cabo, el primero corresponde a septiembre de 1963, el segundo a junio de 1964 y el tercero a enero de 1965. Estos muestreos se hicieron con barrena de 2 m. de longitud, del tipo de rosca en sus últimos 30 cm. de su extremo inferior. Las muestras se colocaron en bolsas de papel, anotándose en éstas el nombre del pozo de observación y la profundidad correspondiente. En cada bolsa se obtuvo la cantidad de 1.0 a 1.5 kilogramos de suelo para su análisis correspondiente. En cada muestreo se anotaron los siguientes datos: fecha de muestreo, cultivo, aspecto del mismo, salinidad aparente del terreno, sistema de riego, años bajo cultivo y producciones, estos dos últimos datos aportados por el agricultor. Además, en el primer muestreo, se determinaron las texturas al tacto del perfil de cada uno de los sitios muestreados para la



formación del plano agrológico. Al momento de muestrear se determinó también la profundidad del manto freático de los pozos de observación con relación al nivel natural del terreno.

Los análisis de las muestras de suelo llevados a cabo por el Laboratorio del Departamento de Ingeniería de Riego y Drenaje de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, incluyen las siguientes determinaciones: Porcentaje de Saturación; pH, éste sólo se determinó en casos especiales, ya que en general varía de 7.5 a 7.9; Conductividad Eléctrica (CE), expresada en milimhos por cm. a 25° C; Sólidos Disueltos Totales; Cationes (calcio, magnesio y sodio); Aniones (carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos); Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI). Los resultados correspondientes a las muestras A.000, A-0.500, A-1.000 y A-1.500 del primer muestreo en sus cinco profundidades respectivas aparecen en el Cuadro 9 del apéndice, ya que sería muy voluminoso presentar los análisis de cada una de las muestras de los tres muestreos que se llevaron a cabo.

Las muestras de agua de los pozos de bombeo se colectaron en frascos ánfora bien limpios de un litro de capacidad, las cuales se designaron con el nombre del pozo correspondiente. La fecha de los cuatro muestreos llevados a cabo correspondieron al 25 de julio y 28 de septiembre de 1964; y el 7 de abril y 25 de septiembre de 1965.



El agua del Río Colorado fué diariamente muestreada en la Presa Morelos, en virtud de estar siendo utilizada para la irrigación en el área estudiada (Gráfica 1).

También se colectaron muestras de las aguas de los principales drenes a cielo abierto en la entrada y salida de dicha área. Las determinaciones química de este elemento realizadas en el Laboratorio fueron las siguientes: Conductividad Eléctrica, Sólidos Disueltos Totales, Cationes Totales, Sodio Soluble, Calcio más Magnesio, Carbonatos, Bicarbonatos, Carbonato de Sodio Residual, Porciento de Sodio y Porciento de Sodio Adsorbido.



## RESULTADOS

Del estudio agrológico llevado a cabo se obtuvieron los siguientes resultados: 32 de los sitios muestreados corresponden a la Serie Holtville, ésto equivale al 40.0% de las muestras analizadas; 26 a la Serie Gila Fase Ligera, o sea el 32.5%; 15 a la Serie Gila Fase Pesada, igual a 18.7%; 4 a la Serie Imperial, que es el 5.0% y 3 a la Serie Meloland que equivale a 3.7%. Los grupos texturales obtenidos del análisis del suelo (0-30 cm.) quedaron distribuidos entre las series en la siguiente forma: Para la Serie Holtville se tienen 23 de Arcilla, 6 Arcilla Limosa, 1 Migajón Arcillo Limoso, 1 Migajón Arcilloso y 1 Migajón Limoso. Para la Serie Gila Fase Ligera se tienen 7 de Migajón Arenoso, 5 Migajón Limoso, 4 Arcilla Limosa, 4 Migajón Arcillo Limoso, 3 Arcilla, 2 Migajón Arcilloso y 1 Migajón Arcillo Arenoso. Para la Serie Gila Fase Pesada se tienen 8 de Arcilla, 4 Arcilla Limosa, 2 Migajón Arcillo Limoso y 1 Migajón Arcilloso. Para la Serie Imperial, los 4 corresponden al tipo Arcilla. Para la Serie Meloland, los 3 corresponden al tipo Migajón Arenoso (Plano No. 4).

Siguiendo el método de clasificación de suelos afectados por sales sugerido en el Manual No. 60 del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América se observó lo siguiente: En el primer muestreo, de las 390 muestras analizadas, 207 corresponden a suelos Salinos;



88 a suelos Normales y 95 a suelos Salinos Sódicos. En el segundo muestreo, de las 345 muestras, 150 corresponden a suelos Salinos; 87 a suelos Normales; 107 a suelos Salinos Sódicos y; sólo una muestra correspondió a suelos Sódicos. En el tercer muestreo, de los 395 análisis; 182 resultaron ser de suelos Salinos, 114 de suelos Normales y 99 de suelos Salinos Sódicos. Lo anterior puede observarse en el siguiente Cuadro.

Cuadro 1. Clasificación de las muestras de suelo atendiendo a la presencia de sales.

Profundidad en cm.	M u e s t r e o											
	Primero				Segundo				Tercero			
	N	S	SS	So	N	S	SS	So	N	S	SS	So
0-20	18	37	23	0	9	28	30	0	18	29	32	0
20-50	14	42	22	0	11	30	26	0	17	35	27	0
50-100	10	48	20	0	21	30	18	0	19	40	20	0
100-150	18	44	16	0	21	35	15	1	25	42	12	0
150-200	28	36	14	0	25	27	18	0	35	36	8	0

N, designa a los suelos Normales; S, a los suelos Salinos; SS, a los suelos Salinos Sódicos; y So, a los suelos Sódicos.

Para poder comparar el contenido salino de las muestras de suelo de los tres análisis que se llevaron a cabo, se tomaron únicamente los datos de CE y de PSI, estableciendo los siguientes rangos arbitrarios: Para la CE, 1.0 milimhos/cm. a 25° C, y para el PSI, 2.0. El análisis del primer muestreo se tomó como base para establecer la variación del contenido salino de las demás muestras; por



ejemplo, si una muestra en el primer análisis reporta una CE de 2.8 y en el segundo muestreo dá un valor de 3.9, su diferencia en CE será de 1.1, que es mayor que el límite arbitrariamente establecido, ésto nos indica que la concentración de sales solubles sufrió variación de un muestreo a otro, esta diferencia se considera positiva y nos indica aumento en su CE. Si en el tercer muestreo, el análisis reporta una CE de 1.5; su diferencia con respecto al primer análisis es de 1.3, que también es mayor del límite de 1.0; ésta diferencia se considera negativa y nos indica que su CE disminuyó. Cuando las diferencias sean menores de 1.0 las muestras se consideran invariables en su contenido salino. Para el caso del PSI, se procedió en igual forma.

Con las diferencias obtenidas se estableció la variación de la CE y del PSI del segundo muestreo con respecto del primero. Así, del total de 340 análisis del segundo muestreo se obtuvo que: 91 muestras aumentaron en más de 1.0 milimhos, 178 disminuyeron y 71 muestras permanecieron invariables. Para el PSI, 151 muestras aumentaron en más de 2.0, 83 disminuyeron, y 106 muestras permanecieron invariables, ó sea que su diferencia fué menor de 2.0.

Procediendo en igual forma con los datos de CE y de PSI del tercer muestreo respecto del primero se obtuvo que: de 390 muestras analizadas, 85 aumentaron su CE en



más de 1.0 milimhos, 202 muestras disminuyeron y 103 permanecieron invariables. Para el PSI, 124 aumentaron en más de 2.0, 117 disminuyeron y 149 permanecieron invariables.

Como se puede observar tanto en la comparación del segundo muestreo como del tercero con respecto del primero, más del 50% de las muestras bajaron su CE en más de 1.0 milimhos. En el tercer muestreo fué menor el aumento de la CE que en el segundo. En cuanto a PSI, en la comparación del segundo muestreo su aumento fué notable en relación a su disminución; en el tercero, el aumento fué ligeramente mayor a la disminución.

Con objeto de hacer más explicativa la variación de las diferencias positivas y negativas de CE del segundo y tercer muestreo, se establecen los siguientes rangos arbitrarios: Variación "Leve", cuando la diferencia de la CE entre una muestra y otra esté comprendida entre 1.0 y 2.0 milimhos/cm. a 25° C, Variación "Media", entre 2.0 y 5.0 milimhos y Variación "Fuerte", cuando es mayor de 5.0. Con éstos rangos y de acuerdo a las profundidades de muestreo, se forman los cuadros de incrementos positivos y negativos del segundo y tercer muestreo.



Cuadro 2. Muestras con incremento positivo de la CE correspondientes al segundo muestreo de acuerdo con la profundidad.

Profundidad en cm.	I n c r e m e n t o			
	Leve	Medio	Fuerte	
0 - 20	12	8	13	
20 - 50	8	7	6	
50 - 100	1	6	2	
100 - 150	8	3	2	
150 - 200	7	5	5	
Total:		36	29	28

En el Cuadro 2 se observa que el mayor número de muestras que aumentaron su CE en los distintos rangos se encuentran en la primera profundidad, o sea la correspondiente a 0-20 cm. y el total de muestras del rango "Leve" es ligeramente mayor a los rangos "Medio" y "Fuerte".

Cuadro 3. Muestras con incremento negativo de la CE correspondientes al segundo muestreo de acuerdo con la profundidad.

Profundidad en cm.	I n c r e m e n t o			
	Leve	Medio	Fuerte	
0 - 20	5	5	14	
20 - 50	7	20	8	
50 - 100	13	19	13	
100 - 150	11	17	10	
150 - 200	16	11	7	
Total:		52	72	52



En el Cuadro 3 se observa que el incremento negativo se presentó en un mayor número de muestras en el rango Medio que en los otros dos y el número de muestras varió en forma irregular en todo el perfil del suelo. Comparando los incrementos positivos y negativos correspondientes al segundo muestreo se observa que la CE bajó con intensidad Leve en 52 muestras y aumentó con la misma intensidad en 36; con intensidad Media disminuyó en 72 y aumentó sólo en 29, ó sea que la disminución fué 2.4 veces mayor que el aumento. Lo mismo ocurrió con el rango Fuerte, en el cual, la disminución fué casi el doble del aumento en el total de muestras.

Cuadro 4. Muestras con incremento positivo de la CE correspondientes al tercer muestreo de acuerdo con la profundidad.

Profundidad en cm.	I n c r e m e n t o		
	Leve	Medio	Fuerte
0 - 20	5	6	21
20 - 50	5	8	6
50 - 100	11	3	1
100 - 150	3	4	1
150 - 200	6	5	0
Total:	30	26	29

En el Cuadro 4 se observa que en el total de muestras de los tres rangos no hubo gran diferencia y el mayor número de muestras del rango fuerte corresponden a



la profundidad de 0-20 cm., ó sean 21 muestras de las 29 que aumentaron con dicha intensidad, algo semejante ocurrió en los rangos del Cuadro 2.

Cuadro 5. Muestras con incremento negativo de la CE correspondientes al tercer muestreo de acuerdo con la profundidad.

Profundidad en cm.	I n c r e m e n t o				
	Leve	Medio	Fuerte		
0 - 20	2	12	20		
20 - 50	14	16	13		
50 - 100	12	18	13		
100 - 150	15	21	8		
150 - 200	14	15	8		
Total:			57	82	62

El Cuadro 5, muestra que el mayor número de muestras correspondió al rango Medio; éste rango y el Leve varió en forma irregular en todo el perfil; en cambio, la mayor disminución del rango Fuerte se presentó en la primera profundidad con 20 muestras. Comparando los incrementos positivos y negativos correspondientes al tercer muestreo se observa que la CE bajó con intensidad Leve en 57 muestras y aumentó en 30; con intensidad Media bajó en 82 y aumentó en 26, ó sea que la disminución fué más de tres veces mayor que el aumento; en el rango Fuerte, la CE bajó en 62 muestras y sólo aumentó en 29.

Con el objeto de relacionar la textura de las mues-



tras que aumentaron en sus diferentes rangos de la CE del tercer muestreo, se formó el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Incremento positivo de la CE en el tercer muestreo en relación al primero de acuerdo con la textura.

T e x t u r a	I n c r e m e n t o		
	Leve	Medio	Fuerte
Arcilla	9	10	13
Arcilla limosa	1	0	3
Arcilla arenosa	3	0	1
Migajón arcilloso	2	2	3
Migajón arcillo limoso	3	3	0
Migajón arcillo arenoso	2	2	1
Migajón limoso	1	0	3
Migajón arenoso	5	5	5
Arena	4	4	0

En el Cuadro 6 se observa que el mayor número de muestras con aumento en la CE corresponde a la arcilla, que es la textura de suelo más pesada, posiblemente la causa de este aumento sea la deficiencia de su drenaje.

Para observar la calidad del agua de los pozos profundos de bombeo, se llevaron a cabo 4 muestreos en las fechas siguientes: julio 25 y septiembre 28 de 1964, abril 7 y septiembre 25 de 1965. Los análisis químicos de dichas muestras aparecen en el Cuadro 7.



Cuadro 7. Análisis químicos de las aguas de los pozos de bombeo.

Pozo:	Mues- trea:	CEX <sup>10</sup> <sub>3</sub>	Sólidos totales	Na. sol:	Ca+Mg	H-CO <sub>3</sub>	%Na.	D.S	Clasi- fica- ción
Cen- tral	1ro.	1.65	1056	7.5	9.0	5.6	45.4	3.5	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
	2do.	1.62	1040	6.6	9.6	5.6	40.7	3.0	"
	3ro.	1.70	1088	7.2	9.8	5.8	42.3	3.2	"
	4to.	1.65	1056	6.7	9.8	5.6	40.6	3.0	"
S-1	1ro.	1.65	1056	5.5	11.0	4.6	33.3	2.3	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
	2do.	1.35	864	5.1	8.4	4.0	37.8	2.5	"
	3ro.	1.70	1088	6.0	11.0	4.6	35.3	2.5	"
	4to.	1.75	1120	6.5	11.0	4.6	37.1	2.8	"
S-2	1ro.	1.75	1120	7.1	10.4	5.4	40.6	3.1	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
	2do.	1.85	1184	7.7	10.8	5.4	41.6	3.3	"
	3ro.	2.60	1664	11.2	14.8	6.6	43.1	4.1	C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
	4to.	1.90	1216	7.2	11.8	5.4	37.9	3.0	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
S-3	1ro.	2.20	1408	9.8	12.2	5.8	44.5	4.0	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
	2do.	2.30	1472	9.2	13.8	6.0	40.0	3.5	C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>
	3ro.	2.00	1280	7.6	12.4	5.6	38.0	3.0	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
	4to.	2.40	1536	9.0	15.0	5.6	37.5	3.3	C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>
S-4	1ro.	2.20	1408	7.0	15.0	6.2	31.8	2.6	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
	2do.	2.20	1408	11.8	10.2	6.6	53.6	5.2	C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
	3ro.	2.15	1376	11.3	10.2	6.2	52.5	5.0	"
	4to.	2.10	1344	10.4	10.6	6.0	49.5	4.5	"
S-5	1ro.	2.20	1408	11.4	10.6	6.4	51.8	4.9	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
	2do.	2.20	1408	11.8	10.2	5.8	53.6	5.2	C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
	3ro.	2.25	1440	11.9	10.6	6.0	52.9	5.2	C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
	4to.	2.15	1376	10.7	10.8	6.0	49.8	4.6	C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
S-6	1ro.	1.95	1248	6.9	12.6	4.8	35.4	2.7	S <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
	2do.	1.72	1104	5.4	11.8	4.0	31.3	2.2	"
	3ro.	2.10	1344	6.8	14.2	5.0	32.4	2.5	"
	4to.	2.15	1376	7.5	14.0	4.8	34.9	2.8	"

Nota: Se hicieron determinaciones de CO<sub>3</sub>= y de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> residual, pero éstos en todos los casos reportaron ce-  
ro, por lo que no aparecen en las columnas.

La clasificación, así como la restricción del uso agrícola de éstas aguas, de acuerdo al Manual No. 60 del Departamento de Agricultura de E.U.A. son las siguientes:



Las aguas clasificadas como  $C_3S_1$ , son altamente salinas, por lo que no deberán usarse para riego agrícola si los suelos tienen drenaje deficiente; ó si es eficiente, para su uso deberán seguirse prácticas especiales para mantener un balance favorable de sales a los cultivos que se lleven a cabo. En cuanto al sodio, se pueden usar en la mayoría de los suelos sin peligro de alcanzar niveles perjudiciales de sodio intercambiable.

Las aguas  $C_3S_2$ , en cuanto a salinidad, tienen las mismas restricciones que la anterior para su uso agrícola. Respecto al sodio, éste presenta un peligro considerable en suelos de texturas finas; su uso, sólo se recomienda en suelos de texturas gruesas ó en suelos muy permeables.

Las aguas con clasificación  $C_4S_1$ , son de salinidad muy alta y no son propias para riego en condiciones ordinarias, pero su uso puede ser ocasional en circunstancias muy especiales; los suelos deben ser permeables, con drenaje adecuado para mantener un balance salino favorable a los cultivos altamente tolerantes que se establezcan. En cuanto al sodio, para la mayoría de los suelos, difícilmente llegarían a alcanzar niveles peligrosos de dicho elemento.

Las aguas clasificadas como  $C_4S_2$ , son de salinidad muy alta y tienen las mismas restricciones para su uso agrícola que en la anterior. El sodio puede presentar



problemas en suelos de texturas finas, mayormente en aquellos con alta capacidad de intercambio catiónico y de drenaje deficiente; su uso se recomienda sólo en suelos de texturas gruesas ó en suelos muy permeables.

Los incrementos positivos y negativos de niveles estáticos de 1963 y 1965, se resumen en el plano 5, en él se observa que aproximadamente un 75% del área en estudio ha sido drenada en mayor ó menor grado con la operación de los pozos profundos de bombeo, aún cuando han extraído relativamente poco volúmen de agua en relación al necesario para regar el área que se cultiva (Cuadro 8).

Cuadro 8. Gasto y volúmen total de agua extraída en los años de 1963 y 1964 en cada uno de los pozos profundos de bombeo.

Pozo:	1963		1964	
	Gasto*	Vol. extraído en M <sup>3</sup>	Gasto*	Vol. extraído en M <sup>3</sup>
Central	170	1,454,724	130	2,552,196
Satélite 1	---	-----	50	289,893
Satélite 2	79	11.376	30	278,014
Satélite 3	40	166,752	35	604,404
Satélite 4	60	217,728	60	807,311
Satélite 5	60	46,656	50	486,704
Satélite 6	30	69,984	25	318,273

\*Los gastos estan dados en litros por segundo y corresponden a los aforos de fin de temporada.

Los pozos que han extraído más agua son el Central, Satélites 4 y 3 que se encuentran en áreas extensamente



drenadas; el Satélite 1 se encuentra en la misma situación, pero dado su poco volúmen extraído, es de suponerse que su radio de acción está interceptado por el Central. El Satélite 2, se localiza en área no drenada y es precisamente el pozo que ha extraído menos agua. Con el volúmen total extraído en 1964, se riegan alrededor de 335 Ha., consecuentemente, la mayor superficie de cultivo se riega con agua de gravedad.



## DISCUSION

De los resultados obtenidos del estudio agrológico se pudo observar que las series dominantes en la zona bajo estudio son la Holtville, Gila Fase Ligera y Gila Fase Pesada, las cuales tienen un drenaje interior eficiente; en el caso de la Gila Fase Pesada, sus capas interiores de material pesado puede afectar ligeramente su drenaje natural. El drenaje superficial de esta serie y de la Holtville es deficiente, por la dominancia de los tipos de textura pesada como son los de arcilla y arcilla limosa, lo cual concuerda con Pérez (11).

Del total de muestras analizadas se notó un aumento progresivo en las correspondientes a suelos Normales, según los porcentajes de 22.57, 25.21 y 28.86, correspondiendo a los muestreos primero, segundo y tercero respectivamente.

Un análisis de los datos correspondientes a las tres primeras profundidades (0-20 y 20-50 y 50-100 cm.), zona en la que se distribuye la mayor parte del sistema radicular de los cultivos; nos indica que la concentración de sales solubles disminuyó notablemente durante el desarrollo de este trabajo, de donde se deduce que hubo lixiviación de sales y que con solo lavado de los suelos se puede reducir dicho problema. En cambio para los suelos Salino-Sódicos el empleo de mejoradores químicos es indispensable; lo anterior coincide con las observacio-



nes y sugerencias del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América (14).

Del estudio de la C E y del P S I del segundo y tercer muestreo con respecto del primero, se observa que la C.E en ambos disminuyó en más del 50%, es decir, se provocó el lavado debido a la tendencia que tiene el agricultor de usar una lámina de agua mayor que la necesaria para humedecer la zona radicular de la planta.

La intensidad de mayor disminución de la C E tanto en el segundo muestreo como en el tercero fué el rango Medio. El total de muestras en los tres rangos siempre fué mayor en la disminución que en el aumento. Esto nos muestra que el drenaje natural del perfil del suelo es eficiente.

Relacionando las muestras que aumentaron su contenido salino, se observa que el mayor número correspondió a los suelos de textura pesada, de esto se deduce que, el aumento de las sales se debe al agua de riego, debido a que esos suelos no han sido lavados y las sales contenidas en el agua se han ido acumulando.

Para el caso del PSI el número de muestras que aumentaron fué mayor que las que disminuyeron; esto fué más notable en el segundo muestreo, cabe mencionar que este muestreo coincidió con los primeros riegos de auxilio y consecuentemente el lavado de las sales solubles hace que las sales de sodio aumenten proporcionalmente en la solución del suelo por ser más difíciles de lixi-



viar.

El análisis de las aguas de los pozos indica que se pueden utilizar para usos agrícolas, considerando que el drenaje interno del suelo es eficiente y que las sales de calcio y magnesio están en mayor cantidad que las de sodio, estas aguas no causarían problema de sodio en los suelos, siempre que se haga un buen uso de ellos y del agua de riego; estas consideraciones han sido manifestadas en estudios anteriores por Wilcox (11) y Clyde (5).

En cuanto al drenaje provocado por los pozos profundos de bombeo, fué bastante notable, como se muestra en el Plano de incrementos positivos y negativos entre los años de 1963 y 1965, en el cual el área drenada domina aproximadamente en un 75% del área en estudio. Hubo lugares en los cuales el nivel estático se abatió considerablemente, iguales observaciones han sido mencionadas por el Instituto de Suelos V. V. Docuchaev (7), Koluvek (8) y Peterson (12).



## RESUMEN Y CONCLUSIONES

La salinidad es un problema que se presenta en todas las tierras irrigadas del mundo; en algunos casos ha sido tan severo que grandes extensiones se han abandonado. En el caso del Valle de Mexicali, la salinidad ha aumentado alarmantemente hasta cubrir una superficie aproximada de 235,000 Has., como consecuencia de esto la disminución en la producción ha afectado seriamente la economía de la región.

Con base en lo anterior se llevó a cabo este estudio en una cuadrícula de 1,600 Has.; en la cual se localizan 7 pozos profundos de bombeo, uno de ellos se encuentra al centro de la cuadrícula a una profundidad de 100.50 M., con tubería de descarga de 30.50 cm. de diámetro y con un gasto de 170 l.p.s.; alrededor de éste pozo se localizan 6 restantes a profundidades que varían de 43 a 50 M. con columnas y tubería de descarga de 20.32 cm. de diámetro y gastos variables de 35 a 60 l.p.s. En la cuadrícula se establecieron pozos de observación del manto freático a cada 500 m. y en forma cuadrangular. Junto a éstos pozos se llevaron a cabo tres muestras de suelos en las fechas de septiembre de 1963, junio de 1964 y enero de 1965; en esas mismas fechas se muestrearon también los pozos de observación situados alrededor de los pozos de bombeo en forma de un pentágono a distancias variables de 20, 40, 60, 80 y 100 m. todos ellos a



la profundidad de 15 m.. El muestreo se hizo hasta la profundidad de 2.0 m., tomándose 5 muestras a las profundidades de 0-20, 20-50, 50-100, 100-150 y de 150-200 cm. El muestreo de las aguas de los pozos de bombeo se hizo en julio y en septiembre de 1964, en abril y septiembre de 1965. Para los análisis de suelos y aguas se siguieron los métodos del Laboratorio de los E.U.A. de Riverside de Calif.

Del estudio agrológico que se llevó a cabo se concluye que, las Series dominantes son la Holtville, Gila Fase Ligera y Gila Fase Pesada; las cuales presentan un drenaje interno eficiente no resultando así en la capa arable donde domina la textura pesada. Por tal motivo se recomiendan prácticas culturales como barbecho profundo, subsuelo e incorporación de residuos de cosecha.

Aún cuando la CE ha disminuído más de 1.0 milímetros/cm. a 25° C, en más del 50% de las muestras analizadas, el problema de los suelos salinos sigue presente en gran parte del área en estudio; para éstos suelos se recomiendan lavados de acuerdo a su contenido salino, aplicados en forma intermitente y entre los riegos de los cultivos. Los suelos salinos sódicos que dominan más del 25% se recomienda que después del lavado se analicen y ver si es necesario la aplicación de mejoradores.

Con respecto a la topografía del terreno en estudio



se observó muy irregular, por lo que se recomienda nivelar para lograr una rehabilitación de los suelos más pronta y eficiente.

El bombeo de los pozos profundos ha producido un abatimiento del manto freático en mayor ó menor grado en más del 75% del área en estudio, aún cuando los volúmenes extraídos no han sido los esperados, ésto nos demuestra la eficiencia del drenaje con pozos profundos de bombeo para el tipo de suelos estudiados. Es recomendable aprovechar al máximo éstas aguas ya que son las únicas aceptables para el riego, y evitar el uso del agua de los drenes.

Las aguas que se han usado para riego han sido en su mayor parte las del Río Colorado, la de los pozos y de algunos drenes; en lo que a su calidad respecta la de los pozos profundos ha sido muy superior a la de las otras dos fuentes.

Como recomendación general se sugiere se sigan analizando los suelos y aguas hasta lograr una recuperación total de los suelos, y mantener el nivel freático alejado de la zona radicular de los cultivos por medio del bombeo.



## BIBLIOGRAFIA

- 1) ALLISON, L. E. Salinity in relation to irrigation. Advances in Agronomy. U.S. Salinity Laboratory Staff, Riverside, California, 1964.
- 2) ASOCIACION ALGODONERA DEL VALLE DE MEXICALI, A.C. In forme anual de actividades y datos estadísticos de la producción. Ciclo 1964-65, Mexicali, B. C., 22 p. Mayo de 1965.
- 3) BERSTEIN, L. Salt tolerance of field crops. Washington, D. C. Bulletin 217, 6 pp., 1960.
- 4) \_\_\_\_\_, FIREMAN, M. & REEVE, R.C. Control of Salinity in Imperial Valley, California. U.S. Salinity Laboratory Staff, Riverside, California, 16 p., 1965.
- 5) CLYDE, E. H. Drainaje of Irrigated Land Experiment Station University of California. Circular 504, 40 p. 1961.
- 6) HERRERA R. J. Estudio sobre Salinidad en la Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, 66 p. Tesis mimeografiada. 1964.
- 7) INSTITUTO DE SUELOS V. V. DOUCHAEV. La aplicación del drenaje en la recuperación de suelos salinos. Traductor, Jesús López Llañez. Academias de Ciencias de la URSS, Moscú, 224 p. 1958.
- 8) KOLUVEK, K. P. Irrigation and Drainaje Practices in the Colorado River Basin of California. U.S. Soil Conservation Service, U.S.D.A., El Centro, California, 13 p. 1964.
- 9) LYERLY, J. P. & LONGENECKER, E. D. Salinity control in irrigation agriculture. Texas Agricultural Experiment Station. El Paso, Texas, Bulletin 876 20 p. 1959.
- 10) MOLOF, J. J. Drainaje in Imperial Valley, California, U.S. Soil Conservation Service, U.S.D.A., El Centro, California, 9 p.
- ✓ 11) PEREZ, E. M. Estudio Agrológico Preliminar del Distrito de Riego del Río Colorado, B. C. Ingeniería Hidráulica en México. Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D. F. 1959.



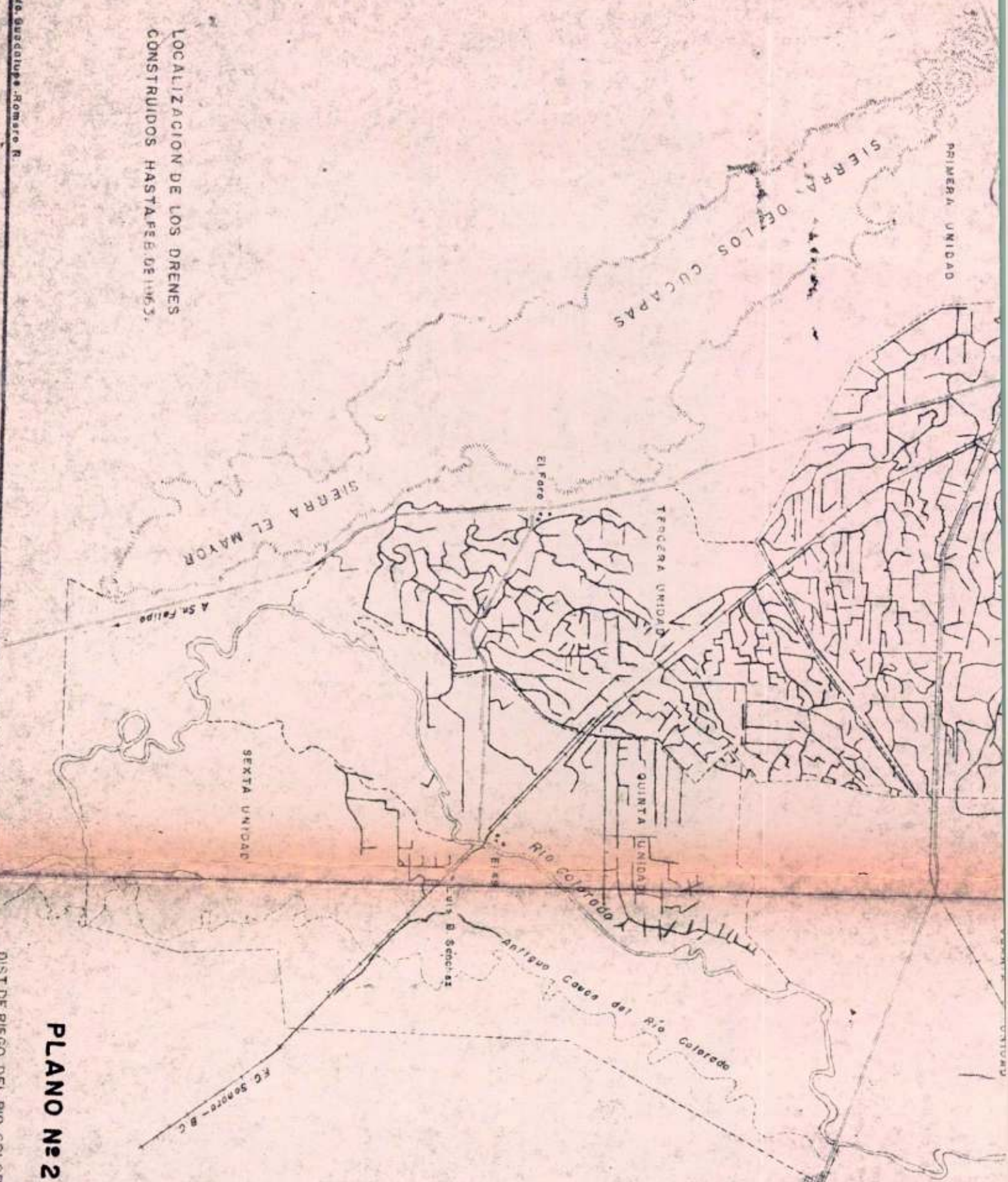
- 12) PETERSON, D. F. JR. The Theory of Drainage by Pumping from Wells. Drainage of Agricultural Lands. Luthin, James N., ed. Davis, California. pp. 181-215, 1957.
- 13) RICHARDS, L. A. & HAYWARD H. E. Salinity Hazards. First Intersociety Conference on Irrigation and Drainage Proc. Department of Agriculture Riverside, California. Bulletin I-258, 93-96 p., 1959.
- 14) UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. U.S. Agriculture Handbook No. 60, Washington, D. C., 172 p. 1954.
- 15) ——— Salt problems in irrigated soils. Washington, D. C. Bulletin 190, p. 1958.
- 16) WILCOX, V. L. Clasificación and Use of Irrigation Waters. Salinity Laboratory. Washinton, D. C. Circular 969 20 p. 1955.



A P E N D I C E

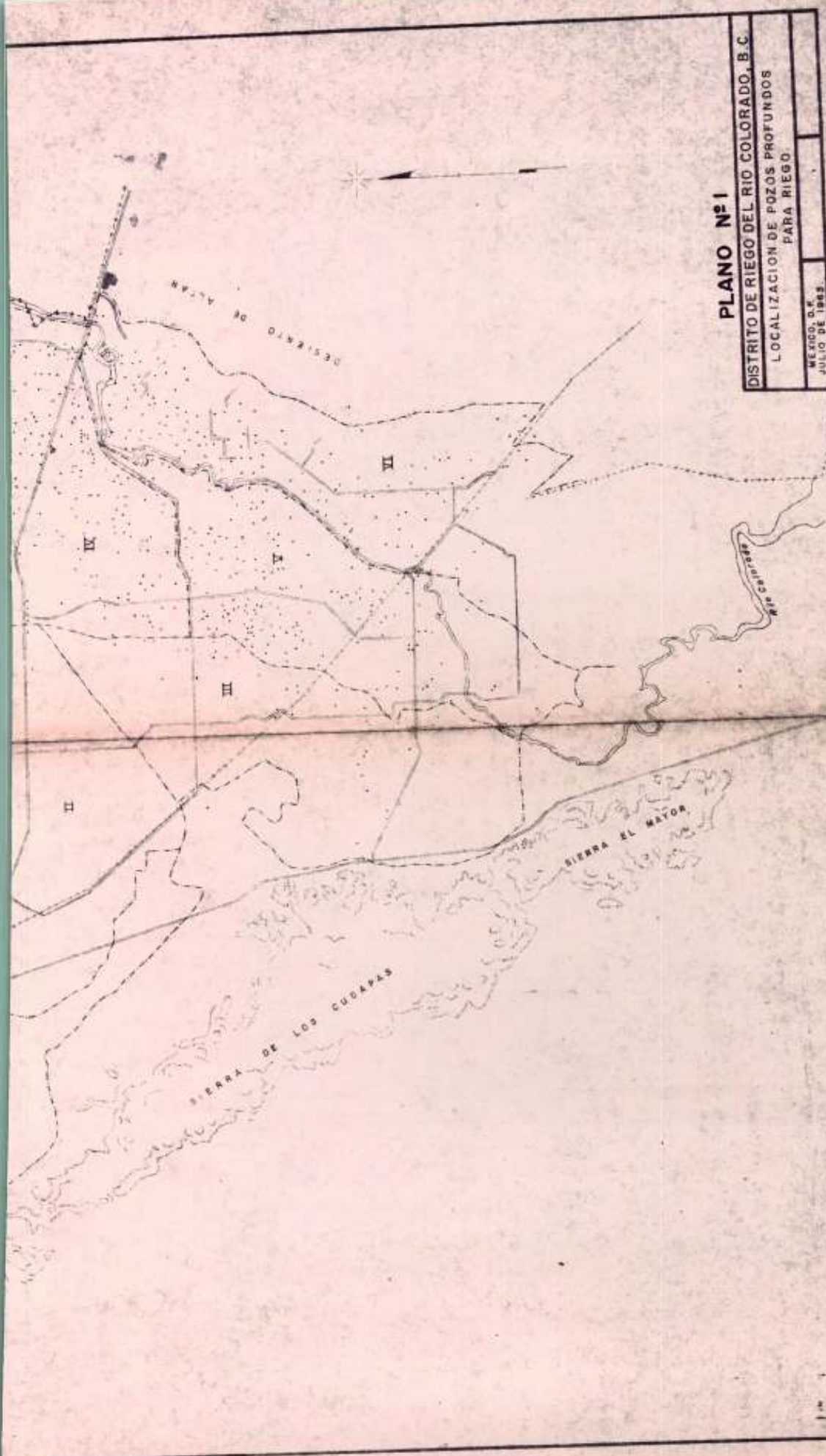


LOCALIZACION DE LOS DRENES  
CONSTRUIDOS HASTA FEB. DE 1963.



PLANO No 2





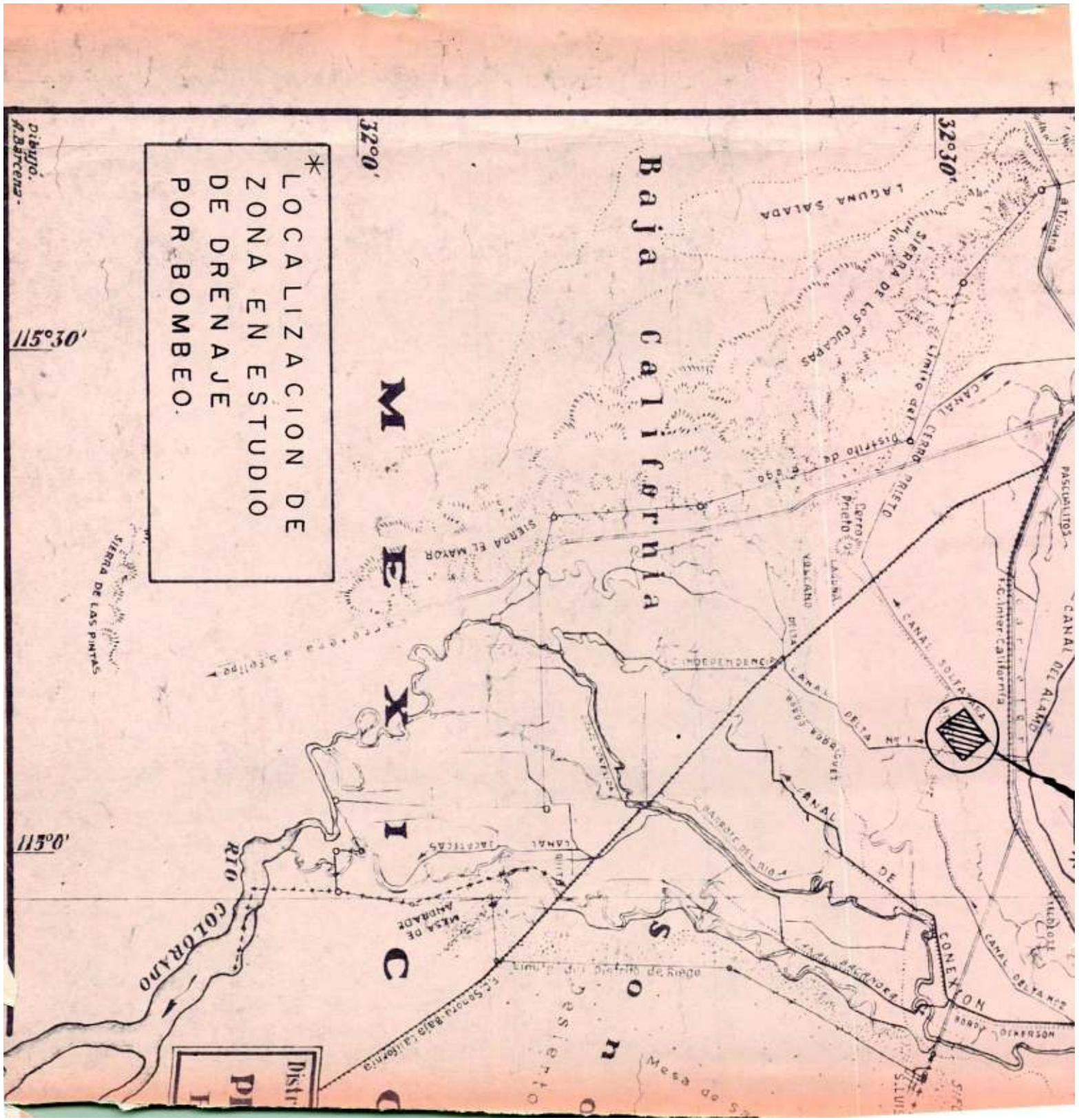
**PLANO Nº 1**

DISTRITO DE RIEGO DEL RIO COLORADO, B.C.

LOCALIZACION DE POZOS PROFUNDOS  
PARA RIEGO.

MEXICO, D.F.  
JULIO DE 1963.





\* LOCALIZACION DE ZONA EN ESTUDIO DE DRENAGE POR BOMBEO.

Distr. P.I.

Dibujó: A. Barceña

115°30'

115°0'

32°0'

32°30'

Baja California

M

E

X

I

C

S

O

Desierto

SIERRA DE LAS PIRAS

LAGUNA SALADA

SIERRA DE LOS CUCAPOS

SIERRA EL MAYOR

CANAL CERRO PRIETO

Limite del Distrito de

Corro Prieto

Laguna

YALCANO

INDEPENDENCIA

CANAL DEL RIO

CANAL AGUAYEN



CONEXION

HOERRIO

S.LUIS

SIERRA

ALTIMA

PASCUALITOS

CANAL DEL ALAMO

F.C. Inter California

SIERRA

DE

DELTA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA

LAGUNA

DE

LA