

LA SALINIDAD DEL DISTRITO DE RIEGO No. 51 DE LA COSTA
DE HERMOSILLO, A TRAVES DE LOS AÑOS DE 1964 a 1970.

TESIS



Sometida a la consideración de la
Escuela de Agricultura y Ganadería

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE LA
ESCUELA DE AGRICULTURA
Y GANADERIA

de la

Universidad de Sonora

por

Leopoldo Pascual Castillo Sifuentes.

Como requisito parcial para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo es-
pecialista en Fitotecnia.

Octubre de 1971.

Universidad de Sonora

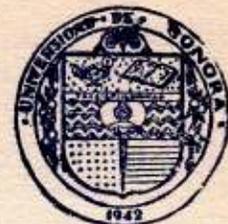
Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



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



EL SABER DE NUESTROS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE LA
ESCUELA DE AGRICULTURA
Y GANADERIA

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1.	Clasificación de aguas de riego basada en la salinidad efectiva expresada en me/lt.....	39
Cuadro 2.	Clasificación de las aguas de irrigación según Scofield.....	39
Cuadro 3.	Fórmulas de porcentaje de sodio posible e índice de permeabilidad.....	39
Figura 1.	Curvas de sales totales hasta Junio de 1964.....	40
Figura 2.	Curvas de sales totales hasta Diciembre de 1965.....	41
Figura 3.	Curvas de sales totales hasta Diciembre de 1966.....	42
Figura 4.	Curvas de sales totales hasta Mayo de 1967.....	43
Figura 5.	Curvas de cloruros en partes por millón hasta Mayo de 1967,.....	44
Figura 6.	Curvas de sales totales hasta Febrero de 1968.....	45
Figura 7.	Curvas de cloruros en partes por millón hasta Febrero de 1968.....	46
Figura 8.	Curvas de sales totales hasta Agosto de 1969.....	47
Figura 9.	Curvas de sales totales hasta Diciembre de 1970.....	48
Figura 10.	Localización del Distrito de Riego de la Costa de Hermosillo.....	49



EL SABER DE LOS DIOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE LA
ESCUELA DE AGRICULTURA
Y GANADERIA

INDICE

	Pag
INTRODUCCION.....	1
LITERATURA REVISADA.....	3
MATERIAL Y METODOS.....	18
RESULTADOS.....	22
DISCUSION.....	29
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	33
BIBLIOGRAFIA.....	36
APENDICE.....	38

INTRODUCCION

El distrito de bombeo de la Costa de Hermosillo, se originó con la construcción de la Presa Abelardo L. Rodríguez hacia el año de 1948, en que dió principio la perforación de pozos profundos, viéndose la necesidad de ésto, debido a que las fuentes de irrigación que eran las avenidas del río Sonora dejaron de recibirse.

Hacia ese mismo año, antes de formarse el Distrito de Riego No. 51, la Comisión Deslindadora y Colonizadora, por Decreto Presidencial estableció el Distrito de Colonización Miguel Alemán iniciándose así una zona agrícola con bases firmes y no fue sino hasta el 18 de Diciembre de 1953, cuando se establece y limita el Distrito de Riego con el único fin de tener un buen control de bombeo.

Al dejar sus funciones el Río Sonora, como fuente única de irrigación, dió principio la zona agrícola dependiendo de la explotación del acuífero.

Las aguas obtenidas del subsuelo son aquellas que se extraen por medio de equipos de bombeo en pozos profundos que pueden estar a mayor o menos profundidad según el lugar y el manto acuífero. En el Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo, Distrito de Bombeo, se han llevado a cabo es estudios de estas fuentes hidráulicas con el fin de conocer la calidad del agua en cada una de las partes donde se tenga una perforación ya que el exceso de extracción del acuífero, propició el abatimiento del mismo, provocando descen-

tos considerables y afectando su calidad, debido a la concentración de sales originadas por la intrusión salina que ha venido incrementándose en forma continua, ya que existe la tendencia a usar de toda agua disponible sin saber su calidad, siendo ésta muy importante, ya que para un manejo adecuado del agua, es necesario tomar en cuenta el suelo donde se aplicará y el cultivo que se establecerá.

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de evaluar año tras año, la situación salina del acuífero de dicho Distrito.

LITERATURA REVISADA

La salinidad del suelo es bien conocida como factor importante en la limitación de la producción agrícola de muchas partes del mundo. Es muy frecuente que esta salinidad se produzca por el uso de baja calidad en la irrigación de los cultivos, que tienen que ser usada en forma creciente por la provisión críticamente baja de agua adecuada.

En las regiones húmedas los suelos son lixiviados por la lluvia y su contenido salino es bajo; pero en las regiones áridas y semiáridas la precipitación pluvial es generalmente insuficiente para lixiviar totalmente los suelos de modo que la mayor parte de las aguas subterráneas y superficiales son más salinas. Las sales solubles normalmente presentadas en los suelos, suministran a las plantas la mayoría de los elementos esenciales para su desarrollo. Un exceso de sales solubles o salinidad, sin embargo, es generalmente nocivo para las plantas; las cuales que más comúnmente aparecen en exceso en las aguas de riego son los cloruros, sulfatos y bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio. Para la mayoría de las plantas de cultivo, la concentración total de sales es más importante que las proporciones de las diferentes sales presentes, aunque algunas aguas o suelos pueden contener suficiente cantidad de un elemento específico tal como el boro, el selenio o el litio, para llegar a ser tóxicos para las plantas (1).

Las características más importantes que determinan la

calidad del agua para riegos son:

- 1) La concentración total de sales solubles.
- 2) La concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes.
- 3) La concentración de boro u otros elementos que puedan ser tóxicos.
- 4) Bajo ciertas condiciones, la concentración de bicarbonato con relación a la concentración de calcio más magnesio (10).

La salinidad de los suelos origina tres grupos: Suelos Salinos, Salinos Sódicos y Suelos Sódicos; necesitándose en su rehabilitación, prácticas de manejo especiales para cada grupo (12).

Si las condiciones de drenaje son deficientes y la velocidad de evaporación superficial es elevada, el suelo tiende a acumular sales solubles en su superficie, clasificándose como suelos salinos y alcalinos, estas condiciones se presentan en los valles de los ríos de las zonas áridas y semiáridas, en las zonas de antiguos lechos de lagos y a lo largo de la costa, en donde la evaporación es intensa y las lluvias escasas. La acumulación de sales puede dar lugar a la formación de un suelo muy alcalino, o a la cantidad de sales neutras suficientes para inhibir el desarrollo de las plantas que presentan un interés económico (11).

Las condiciones de alcalinidad y salinidad, que figuran entre los principales factores involucrados en la decadencia de muchas civilizaciones antiguas, están reduciendo

seriamente el valor y la productividad de millones de hectáreas de tierras agrícolas en todo el mundo.

Un levantamiento incompleto indica que, en los Estados Unidos, aproximadamente la tercera parte de las tierras irrigadas y potencialmente irrigables en los 17 estados del Oeste, está afectada hasta cierto grado por la salinidad y la alcalinidad. Estas condiciones perjudiciales o adversas del suelo se presentan principalmente en los climas áridos y semiáridos, donde la lluvia es insuficiente para satisfacer el crecimiento de los cultivos y se debe practicar el riego.

Los problemas de drenaje surgen casi invariablemente en grandes zonas de riego, principalmente como resultado de la poca eficiencia en la conducción y en aplicación del agua de riego.

Para el agricultor se presenta un problema de gran importancia económico cuando se desarrolla en condiciones de salinidad y alcalinidad en terrenos de cultivo anteriormente buenos y con alta producción. Estas condiciones adversas pueden surgir por causas naturales, tales como aguas del subsuelo saladas en unión de un drenaje inadecuado, una mala permeabilidad del suelo, o bién por causas propiciadas por el hombre, tales como la aplicación de cantidades excesivas de agua de riego, el uso de aguas de riego de mala calidad, no dotar a la tierra de instalaciones adecuadas de drenaje, las prácticas inadecuadas de manejo de suelo y la combinación de varios de estos factores (9).

Los suelos de las regiones áridas contienen proporcionalmente grandes cantidades de sales solubles. Una alta pluviometría anual, como en el caso de las regiones húmedas hace que el agua se filtre a través de los suelos y lleve a los arroyos, ríos y mares grandes cantidades de substancias minerales solubles. Las escasas lluvias registradas en las regiones áridas no penetran en los suelos vírgenes a la profundidad suficiente para producir una percolación apreciable. La mayor profundidad a la que penetra el agua que proviene de las precipitaciones, así como la procedente de la nieve derretida o de las lluvias de la estación húmeda, varía entre 0.3 y 1.2 M., depende del volumen y duración de la precipitación y de la naturaleza del suelo. La falta de percolación en los suelos de las regiones áridas, juntamente con la excesiva evaporación del agua, produce la acumulación en la parte superficial del suelo de sales solubles que son perjudiciales para la vida de las plantas. En consecuencia puede asegurarse que la causa fundamental que hace que un suelo sea alcalino no es otra cosa que la insuficiente aplicación del agua (8).

Como no es posible establecer la validez de una teoría cualquiera sin antes efectuar una correlación con los datos reales, se han venido desarrollando paralelamente con las teorías, técnicas de medición y observación de la intrusión salina. Teniendo en cuenta que el problema es tridimensional, los pozos de observación del tipo más avanzado existentes son similares a las estaciones piezométricas empleadas

en mecánica de suelos, con la diferencia de que los piezóme tros se substituyen por tramos ranurados de varios metros de longitud. En estas condiciones, si se cuenta con sondas especiales, debidamente calibradas que midan simultáneamente temperatura y resistibilidad del agua a diferentes profun didades, es posible, con suficiente aproximación, deducir la distribución vertical de salinidad y con ello, la posi ción de la interfase salina.

Los problemas de intrusión salina no son privativos de los acuíferos costeros; pueden ocurrir donde quiera que haya una masa de agua salobre en contacto con agua dulce. Cuando se trata de acuíferos múltiples, uno de agua salobre y otro de agua dulce, el problema se reduce simplemente a la correcta identificación de los mismos para posteriormente ver que los pozos de explotación se encuentran sellados en los tramos que cruzan a los acuíferos de agua salada.

Cuando los problemas de salinidad pueden asimilarse con suficiente aproximación a problemas bidimensionales, es posible estudiarlos a través de modelos de tipo Hele Shaw consistentes en placas paralelas a pequeñas distancias entre las que circulan fluidos viscosos de diferentes densi dades (6).

Datos de los experimentos llevados a cabo sobre la salinidad en la zona del Río Muerto, localizada dentro del Distrito de Riego del Río Yaqui, Sonora:

a) Originalmente la zona del Río Muerto estaba constituí da por suelos sin aparente afectación salina, sin embargo, a

medida que fueron sometidos a la irrigación, comenzaron a aflorar las sales al grado de que 7,200 hectáreas tuvieron que ser abandonadas. La causa de ello se atribuyó a la falta de la Red General de Drenaje, que en esta zona no había sido realizada.

b) De las 220,000 hectáreas que comprende el área total de riego del Distrito se han clasificado hasta la fecha 52,470 hectáreas con diferentes grados de concentración salina.

c) La zona salina se localiza formando una franja que se desaloja sensiblemente paralela al mar, siguiendo el perímetro del Distrito y ocupando la parte más baja de las áreas de riego.

d) Las proporciones que llegó a tener y la amenaza de alcanzar magnitudes mayores, al extenderse sobre terrenos situados cada vez más altos, determinó realizar trabajos que se han dado a llamar de "Rehabilitación" y que comprenden Obras de Drenaje del "Tipo General" y "Parcelario", "Nivelación de Mejoradores Minerales", "Rotación de Cultivos" y "Mejor Uso del Agua de Riego" (4).

El riego por aspersion también ayuda a lixiviar las sales de la superficie creando un medio más favorable para la germinación de la semilla (13).

Es probablemente bastante común de los Distritos de Riego, establecidos principalmente en las regiones áridas o semiáridas, la salinidad de los suelos máxime cuando se abusa de la irrigación, en la explotación agrícola de los te-

rrenos.

La falta de obras específicas ocasionó un aumento desmedido de las áreas dañadas, a tal grado que hubo necesidad de activar su construcción y efectuar trabajos de mejoramiento, que tienen por límite la restauración de los suelos.

Las causas que favorecen la propagación de este problema son de índole variable, aunque generalmente siempre se acentúan con el "mal drenaje". Cuando se presenta el manto freático alto, se favorecen las afloraciones salinas. Por otra parte, los excedentes de riego que se infiltran en las zonas altas, al desalojarse interiormente, llevan en solución sales que afloran en los terrenos situados topográficamente más bajos.

Los factores Salinidad, Drenaje y Riego, tienen ligas indisolubles que requieren manejarse con esmero, dado que la influencia repercute en los otros con resultados positivos o negativos. Es por ello que el mejoramiento de terrenos salados queda comprendido dentro de un vasto programa de obras donde se involucran estos tres factores.

Para lograr controlar y disminuir la salinidad, se debe realizar trabajos que tiendan primero a conocer el estado de la afectación salina, la distribución en su perfil, el tipo y clase de sales y el grado de solubilidad, para después combatirla mediante la aplicación de técnicas de mejoramiento (3).

Los suelos minerales derivan principalmente su procedencia y acumulación de las sales, en la edafización de las ro

cas. Existe una relación íntima entre las acumulaciones de sal y la composición íntima de la roca madre. Los suelos formados directamente de rocas salinas contienen por lo general un exceso de sales.

Algunos suelos de climas áridos que no tenían exceso de sal antes de ser cultivados, se han transformado en improductivo debido al riego con aguas excesivamente salobres. El agua que se filtra a través de rocas con elevado contenido de sales minerales suele contener una apreciable proporción de ellas.

La sal se acumula en los suelos regados cuando se les añade más de la que eliminan. Las aguas de riego contienen desde 0.25 a 12.5 toneladas de sal por un volumen de agua, de base una hectárea y 30 cm. de espesor. Algunos regantes solamente emplean 60 cm. de agua por campaña, mientras, que otros, en las zonas donde los veranos son largos y cálidos, utilizan hasta 1.5 M. de agua o aún más. Cuando no existe drenaje el agua de riego puede aportar cada año, de 2.5 a 25 o incluso más toneladas de sal a una hectárea de tierra.

El vehículo más eficaz para la eliminación de sal del suelo es el agua que atraviesa su zona radicular, siempre teniendo en cuenta que la sal continuará acumulándose si la cantidad arrastrada es menor que la incorporada por el agua de riego. Para evitar esta acumulación de sal que trae consigo la disminución de los rendimientos de las cosechas, los riegos deben eliminar sal en la misma proporción en que es

adicionado al terreno. En algunas zonas se empeñan en regar mucha extensión de terreno con un volumen de agua limitado, lo que da como resultado que el suelo no se humedece mas que algunos decímetros. En Otras, la capa de agua freática está tan cerca de la superficie que retarda o impide el lavado de la sal de la zona radicular del terreno. Allí donde las capas freáticas son poco profundas, el movimiento ascensional del agua salobre subterránea da como resultado una continua acumulación de sales en la superficie del terreno (8).

Las sales solubles que ocurren en el suelo consisten principalmente de diversas proporciones de los cations sodio, calcio y magnesio; y los aniones cloro y sulfato. En menores cantidades tenemos el catión potasio y los aniones bicarbonato, carbonato y nitrato. El origen y hasta cierto grado la fuente directa de los constituyentes de las sales son los minerales primarios que bajo la influencia de los agentes del intemperismo los han dejado en libertad.

Aunque el intemperismo de los minerales primarios es la fuente indirecta de casi todas las sales solubles, existen raros casos en donde sales suficientes se han acumulado en algún lugar a partir de esta sola fuente. Los suelos salinos usualmente ocurren en áreas que reciben sales de algunas otras localidades y el agua es el principal acarreador. (7).

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 salini-

dad, 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.

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 (5).

Tanto el exceso de sales solubles y álcalis como la sequía, constituyen las principales causas de esterilidad e inproductividad de los suelos de las regiones áridas. Aunque las tierras alcalinas y salinas son características de estas regiones, no se dan en todas partes ni su distribución es uniforme. La recuperación para el cultivo de los suelos alcalinos y salinos y el impedir que las sales se acumulen en exceso en las zonas fértiles que son regadas en la actualidad, son cuestiones de capital importancia para las regiones áridas.

Los suelos salinos son aquellos que por tener exceso de sales solubles poseen una solución de suelo suficientemente concentrada para perjudicar a las plantas y hacer disminuir la productividad de la tierra. El término "Suelo Alcalino" se aplica a los suelos que tienen un exceso de sodio libre, sean o no excesivas las sales solubles totales (8).

La interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio debe realizarse de acuerdo con los siguientes

factores:

- a).- Por contenido de sales solubles
- b).- Por el probable efecto del sodio sobre las características físicas de los suelos.
- c).- Por la presencia de elementos tóxicos.

Los criterios que sirven para estimar los peligros de las sales en los diferentes conceptos señalados, son distintos para aguas con un contenido de bicarbonato de más de 20% (A), respecto a las que tienen menos de 20% (B).

Aguas con menos de 20% de carbonatos y bicarbonatos:

a).- La clasificación de las aguas por lo que respecta a sales solubles y a la relación de adsorción de sodio se debe efectuar de acuerdo con las especificaciones del Manual 60.

b).- La clasificación de las aguas por lo que respecta al contenido de sodio, además de realizarse de acuerdo con el valor del RAS, (Relación de Adsorción de Sodio) se realizará por el valor del "Carbonato de Sodio Residual" según las especificaciones del manual 60.

c).- La clasificación de las aguas de acuerdo con el contenido de elementos tóxicos se debe realizar en la siguiente forma:

c.1) Por contenido de boro según las especificaciones del Manual 60.

c.2) Por contenido de cloruros, de acuerdo con el siguiente cuadro: Las aguas se consideran de primera si se tiene menos de 100 ppm (partes por millón), son de segunda

si tienen entre 100 y 250 ppm y son de tercera si tienen más de 250 ppm.

En función de las clasificaciones señaladas la conclusión sobre la calidad del agua de riego será una de las siguientes: BUENA, CONDICIONADA o NO RECOMENDABLE.

1.- BUENA: Cuando se trata de agua de clasificación CI SI, con menos de 1.25 me/lt. de carbonato de sodio residual menos 0.33 ppm. de boro y menos de 100 ppm. de cloruros. Es tas aguas pueden ser utilizadas para riego de cualquier espe cie de cultivo, en cualquier tipo de suelo y bajo cualesque ra condiciones climatológicas.

2.- CONDICIONADA: Cuando por uno o más índices el agua sin ser de primera tampoco rebasa los límites máximos permisibles. La calidad de estas aguas no puede definirse en función únicamente de sus características físicas y químicas, sino que es indispensable tomar en consideración las condiciones del suelo, los cultivos y las condiciones climatológicas bajo las que serán utilizadas. Para ésto debe tomarse en consideración la tolerancia de los diferentes cultivos y las especificaciones sobre manejos de suelos recomendados en el Manual 60. En casos específicos, de acuerdo con estas recomendaciones, las aguas podrán considerarse de buena calidad o "no recomendables".

Complementariamente el efecto de la salinidad sobre los suelos debe ser estimado mediante las determinaciones de la "Salinidad efectiva", el "porcentaje de sodio posible y el "índice de permeabilidad".

3.- NO RECOMENDABLE: Cuando por uno o más de los índices se rebasan los límites máximos permisibles. Estas aguas no deben emplearse directamente para riego puesto que sus efectos sobre el suelo y cultivos son nocivos en la generalidad de los casos; sin embargo pueden emplearse mezcladas con agua de mejor calidad, de manera que su clasificación pase por lo menos a "acondicionada" y en tales condiciones deben tomarse en cuenta las recomendaciones anotadas. En el caso particular de los cloruros, cuyos efectos tóxicos están relativamente poco estudiados, parece posible utilizar aguas con una concentración mayor de 250 ppm. siempre y cuando no se trate de cultivos sensibles como cítricos, aguacate, vid, fresa, etc. y se tenga un control cuidadoso de la salinidad de los suelos.

"Salinidad Efectiva".- Es una estimación del peligro real que presentan las sales solubles del agua de riego por aumento de la presión osmótica del suelo, pues toma en cuenta la precipitación ulterior de las sales menos solubles (carbonatos, alcalinotérreos y sulfato de calcio) y que dejan de participar como sustancias solubles que elevan la presión osmótica.

La salinidad efectiva se calcula de la siguiente forma:

a).- Cuando se tenga un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos y éstos son mayores que el contenido de calcio, la salinidad efectiva es igual a la salinidad total menos los carbonatos de calcio y magnesio presentes (expresados en miliequivalentes por litro).

b).- Si el contenido de calcio es mayor que el de los bicarbonatos y carbonatos, la salinidad es igual a la salinidad total menos los carbonatos y sulfatos de calcio (expresados en miliequivalentes por litro).

La clasificación del agua por su salinidad efectiva, tomando en cuenta las condiciones del suelo, se hace de acuerdo con el Cuadro 1, que muestra la clasificación de agua de riego basada en la salinidad efectiva expresada en me/lt.

El lavado puede ser natural, por lluvia o artificial si se proporciona sobre-riego.

Para la clase 1 no existe peligro de ensalitramiento ni se ven afectados los rendimientos de los cultivos. En las clases 2 y 3 es necesario aumentar las condiciones de lavado del suelo favoreciendo el drenaje, o considerar la tolerancia de los cultivos que van a utilizarse.

Cuando el PSP (Porcentaje de Sodio Posible) es menor de 50% las aguas pueden emplearse sin peligro. Cuando el PSP es mayor de 50% y si el contenido de sodio es mayor de 10 me/lt existe el peligro de sodificación en suelos que tienen menos de 45% de carbonatos alcalinitérreos y las aguas deben mezclarse con otras de mejor calidad; o bien se les puede agregar yeso para poder usarlas. En suelos orgánicos y en suelos de textura ligera, en igualdad de condiciones, el peligro de sodificación es mucho menor que en otros suelos debido a que el efecto del sodio sobre la estructura se debe a la defloculación del material arcilloso y en el primer caso

la materia orgánica lo contraresta y en segundo no existen cantidades apreciables de materiales finos. El PSP se calcula según la fórmula que aparece en el Apéndice (Cuadro 3).

La clasificación del agua por el "Índice de Permeabilidad" es una estimación empírica de la afectación de la permeabilidad del suelo por efecto que puede tener el contenido de sodio, la concentración total de sales y el contenido de bicarbonatos de agua de riego. Para clasificar el agua se utiliza además del valor dado por la fórmula respectiva (ver en Apéndice) la concentración total de sales expresadas en miliequivalentes por litro y una estimación sobre la permeabilidad inicial del suelo; para lo cual se emplean las gráficas del anexo 3, que estén referidas a suelos de permeabilidad mediana, baja y alta. Entrando en la gráfica adecuada, según el tipo de suelo, con los valores del índice de permeabilidad y la concentración total de sales pueden definirse 3 clases de agua. Las clasificadas como de primera no ofrecen ningún peligro para la estructura, aereación y lavado de los suelos. En las de segunda y tercera es necesario tomar medidas para evitar la afectación de los suelos, las que pueden consistir en favorecer el drenaje, mezclar las aguas con otras de mejor calidad; o bien en casos de alto contenido de sodio, agregar yeso al agua (2).

MATERIAL Y METODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el Distrito de Riego No. 51, Costa de Hermosillo, zona licalizada en la parte central del Estado de Sonora, al Oeste de la ciudad de Hermosillo, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Se consideró para tal estudio el total de la superficie cultivable donde se cuenta con fuente hidráulica, la cual abarca un área de 120,000 Has. irrigada por el sistema de bombeo con pozos profundos extrayendo el agua del subsuelo.

Dicho trabajo se hizo con el fin de ver la constante intrusión salina del acuífero, ya que la proximidad del mar y el exceso de extracción del agua del acuífero han venido provocando el problema de la intrusión salina, por lo que desde el año de 1963 se inició una etapa con meta a finalizar en la reducción de las extracciones quedando a partir de 1965 una dotación límite de 2,107 millares de M^3 por pozo para colonos y ejidatarios y 1555 millares de M^3 para Pequeños Propietarios.

Con base en el análisis químico para determinar la calidad del agua y conocer el aumento o disminución de salinidad, año tras año se ha venido llevando a cabo los muestreos de agua de los pozos profundos del Distrito, con el fin de analizarse y graficarse después, siguiendo la configuración conforme lo indique el resultado del análisis dado en partes por millón de sales totales.

Para llevarse a cabo dicho muestreo se requieren los procedimientos siguientes: Utilizar frascos que no sean de mayor volumen que 0.5 litro, ya que ocuparían mucho espacio y para tal análisis no se necesita mayor cantidad de agua que ésa.

Los frascos deben estar limpios para evitar contaminación alguna, después de lavarse perfectamente en el laboratorio con jabón y luego de 2 ó 3 veces enjuagarse con agua destilada al igual que los tapones con que se cerrarán; una vez hecho ésto, en el pozo debe lavarse o enjuagarse el frasco con el agua que se va a tomar para el análisis y cerrarse herméticamente con el tapón y su respectiva etiqueta por frasco con las características necesarias del lugar.

La etiqueta que llevará el frasco debe llevar las siguientes indicaciones:

a) Nombre del campo, b) nombre del propietario, c) Número de pozo, d) horas de bombeo y e) fecha de muestreo; todas estas indicaciones son indispensables para evitar confusiones tanto en el laboratorio como en el campo, ya que varios campos pueden tener el mismo nombre y ya con el número del pozo no habrá duda alguna.

En el laboratorio se registran las muestras en un libro de registro con las indicaciones siguientes:

a) Número de muestra, b) número de pozo, c) nombre del predio, y d) fecha de muestreo.

Los pozos analizados en el laboratorio son de diámetro diferente, abarcando 6, 8, 10 y 12 pulgadas, siendo los más

numerosos los de 10 pulgadas.

Los análisis de las muestras de agua llevadas a cabo en el laboratorio del Departamento de Ingeniería de Riego y Drenaje de la Secretaría de Recursos Hidráulicos; incluyen las siguientes determinaciones: pH (Potencial Hidrógeno); conductividad eléctrica (C.E.) expresada en milimhos por cm. a una temperatura de 25°C; sólidos disueltos totales; cationes (Calcio, magnesio y sodio); aniones (carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos); relación de adsorción de sodio (RAS).

Valor pH.- Prueba de determinación de acidez y alcalinidad que varía de 0 a 14 respectivamente, pasando por 7 que significa neutralidad, se mide en una escala propia para determinación de pH.

Sólidos Disueltos.- Se determina por medio de la evaporación de la muestra filtrada y se obtienen por diferencia de pesos, indicándonos la cantidad de materia que contiene la solución.

Cloruros.- Se determinan en el laboratorio por titulación con nitrato mercurico $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 0.002 N. usándose como reactivos ácido nítrico y difenil carbazona.

Calcio y Magnesio.- Son cationes que al igual que el sodio y el potasio se localizan generalmente en el agua de riego. Ambos son elementos nutritivos para la planta excepto el sodio que es tóxico para las plantas.

Se determina a base de eriocromo negro como indicador con el fin de que al titularse con la solución EDTA Na. 2,

la alícuta con el eriocromo negro más el agua destilada (amortiguador), vire de color rojo vino a azul o verde.

Aniones.- Los más comúnmente localizados en el agua para riego son los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos.

Relación de Adsorción de Sodio (RAS).- El peligro de sodificación de un agua de riego radica en las concentraciones absoluta y relativa de los cationes calcio, magnesio y sodio, siendo de mayor peligro de sodificación si la proporción de sodio es alta, en cambio si predomina el calcio y el magnesio, disminuye el peligro.

Como resultado de la acumulación de sodio intercambiable se forman los suelos sódicos.

RESULTADOS

Del estudio que se ha venido realizando año tras año desde 1964 podemos observar la clara situación salina del acuífero, ya que al describir la situación salina por año veremos en forma concreta la calidad del agua en zonas bien identificadas.

Según el análisis llevado a cabo en Junio de 1964, se pueden observar dos clasificaciones de agua según Scofield, en la Figura 1 de curvas de sales totales. En este año podemos ver que la mayor parte de las aguas de los pozos que irrigan el Distrito son de buena calidad excepto en las zonas más cercanas al mar como las localizadas al suroeste de la Costa en la región del Carrizal, en donde la máxima curva configurada alcanzó a llegar a 1,300 partes por millón, al igual que en la zona entre la Calle 28 Sur y Calle 26 (parte suroeste).

Como puede observarse en la Figura 2, se localizan generalmente las mismas zonas dañadas con agua de tercera clase pero con la diferencia que en los pozos 49-13, 48-01 y 48-02 llegó a una concentración de 2,300 a 3,000 partes por millón de Sales Totales Disueltas, o sea de 5ta. clase o inútil.

Según el estudio del año de 1965 llevado a cabo en Diciembre, nos indica que los pozos 23-01 y 23-02 aumentó de 450 partes por millón a 525 partes por millón, límite que determinó ser agua de tercera clase.

Con los análisis efectuados en Diciembre del año de 1966, en igual forma se procedió a la elaboración del plano de curvas de sales totales, en el cual se configuró con los datos obtenidos del análisis en la misma forma que en los años anteriores.

Debido a los resultados obtenidos en el año anterior y por conducto de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, se recomendó tener cuidado especial en estos lugares, tanto en los pozos 48-01, 48-02 y 49-13 como en los pozos localizados en "El Carrizal" ya que se contaba con 3,000 partes por millón en los primeros y 1,200 partes por millón en los segundos, obteniendo como resultado que para el análisis presente (Dic. 1966) en los pozos 48-01 y 48-02 se pudo obtener descenso de 2,000 partes por millón; en cambio afectó la parte donde se localiza el pozo 49-13 como puede observarse en la figura correspondiente (Figura 3).

En la zona de "El Carrizal" vemos que los análisis reportan una parte de ésta con 2,000 partes por millón, concentración de sales encontrada en el agua de dos pozos, los cuales por un pequeño margen se conservan en la clasificación de aguas tolerable.

En este tercer año muestreado podemos ver, según el plano de curvas configuradas de sales totales, lagunas aisladas de pozos con agua de tercera clase que en años anteriores se encontraban clasificados en segunda clase, como podemos observarlo en la Figura 3.

Una vez que se obtuvieron los resultados del análisis

efectuado en Mayo del año de 1967, se procedió en la misma forma a la elaboración del plano de curvas de sales totales por medio de la configuración de las concentraciones de sales totales obtenidas en cada pozo.

En este muestreo podemos observar que la curva máxima de contenido de sales totales disueltas en el agua llegó a 5,200 partes por millón considerando que el límite para pasar a la clase inútil, es de 2,100 partes por millón.

Haciendo la observación pertinente de que en el primer muestreo, en el año de 1964, existían zonas en que difícilmente pasaban de 525 partes por millón, o sea, agua de tercera clase o tolerable y ningún pozo llegó al límite de 1,400 partes por millón para ser agua dudosa o de cuarta clase; en este último muestreo vemos que la máxima curva alcanzó una concentración de 5,200 partes por millón, localizándose en el pozo 49-13 con una concentración de cloruros de 200 partes por millón.

Se trató de bajar la concentración tanto sales totales disueltas como de cloruros por medio de poros temporales y esporádicos con el fin de obtener una posible recuperación del acuífero en ese lugar, pero todo fue inútil ya que el análisis de muestras tomadas de este pozo en fechas posteriores indicaron la imposibilidad de dicha mejora, por lo cual se procedió a clausurarse ya que su agua por ningún motivo podía servir para ningún cultivo debido a su alto contenido de sales y cloruros.

En la zona "El Carrizal" vemos que la mayor concentra-

ción de sales totales de 1,000 partes por millón y de cloruros de 200 partes por millón según se observa en la Figura 4 y 5 respectivamente.

Se puede observar que según el análisis actual (Mayo de 1967); la mayor parte de la zona central de riego se encuentra clasificada en agua de segunda clase o buena

Con lapso de 9 meses al anterior, se hizo el presente análisis en Febrero de 1968, en el cual podemos observar con sumo interés que a consecuencia de la clausura del pozo 49-13, la zona dañada con 5,200 a 1,000 partes por millón que abarcaba un área muy pequeña, en lo que solo perjudicaba a los pozos 48-01 y 48-02 según lo muestra la Figura 4, dicha zona se extendió a lo largo de la costa afectando gran número de pozos como podemos observarlo en la Figura 6 en la que puede verse, que la concentración, tanto de sales totales como de cloruros, bajó en forma excesiva, teniendo la mayor concentración en esta zona de 800 partes por millón de sales totales y de 200 partes por millón de cloruros, pero abarcando mayor superficie y afectando mayor número de pozos. En cambio en la zona de "El Carrizal", la diferencia en concentraciones, de un año a otro, tanto de sales totales como cloruros es mínima.

La tercera zona que podemos citar, afectada por sales es la situada al final de la Calle 20 la cual empezó con altas concentraciones desde el análisis pasado (ver la Fig. 4) en la que la mayor concentración era de 600 partes por millón de sales totales y en el actual análisis la mayor concentra-

ción de sales totales es de 1,000 partes por millón y además se extendió el área dañada, afectando los pozos 55-03 y 56-09.

Con las muestras analizadas en el mes de Agosto de 1969 se configuró el plano de curvas de sales totales en el cual se obtuvieron zonas donde se ve claramente la afluencia de la intrusión salina en la parte cercana al mar; vemos que la zona "El Carrizal", que se había mantenido similar en los análisis anteriores, en el reciente muestreo se observa que tanto para la parte norte como para la parte sur se está prolongando el aumento de sales del agua en la zona costera, de bido al exceso de extracción en esta zona, estando a punto de unirse la salinidad de la parte sur de la zona "El Carrizal" con la parte norte de la zona final de la Calle 28 Sur en la que su máxima curva de salinidad es de 1,000 partes por millón, lo que nos indica que sigue aumentando su salinidad ya que el anterior análisis, su máxima curva era de 800 partes por millón.

En el presente plano puede observarse que los análisis tomados no indicaron ninguna de la zona que en análisis anteriores estaban afectadas por sales, como son la zona alta de Siete Cerros o parte noreste de la zona de riego, y final de la Calle 4 en la que ha habido curvas de sales totales que llegan al límite de las aguas clasificadas en tercera clase o tolerable.

En el presente análisis y último del estudio, efectuado en Diciembre de 1970 los resultados obtenidos con que se con

figuraron las curvas de sales totales en número menor que en el año anterior debido a que en el transcurso del año se sellaron algunos pozos en la zona de "El Carrizal" debido al exceso de intrusión salina que estaban recibiendo estos pozos y su calidad de agua estaba cada vez en peores condiciones muy lejos de poderse utilizar para riego, ya que debido a los muestreos subsecuentes al que se realizó en Agosto de 1969, indicaron la gran cantidad de sales que estaban adquiriendo y sin mejora alguna.

El análisis realizado en Diciembre de 1970, registra algunas nuevas zonas afectadas por sales que antes habían permanecido entre las 250 y 400 partes por millón y que aunadas a las zonas afectadas ya registradas en el año anterior nos indican que gran parte del litoral de la región se encuentra afectada y que lo que en años anteriores se temía sobre las grandes afluencias de intrusión salina en el manto acuífero, está llegando a su realidad.

En el presente estudio la curva máxima de contenido de sales totales disueltas es de 1,000 partes por millón, lo cual nos indica que es menor que la registrada en algunos años anteriores pero con mayor superficie, extendiéndose a lo largo de los pozos localizados cerca del mar como puede notarse en la Figura 9.

En dicha figura, en la que se muestran las curvas de sales totales, del presente año, se localizan las siguientes zonas afectadas:

- 1) Zona "El Carrizal" donde su máxima curva de sales es

de 600 partes por millón, extendiéndose hacia el final de la Calle 36 Sur donde la máxima curva de sales es de 1,000 partes por millón.

2) Zona final de la Calle 28 Sur en donde su máxima curva de sales es de 900 partes por millón.

3) Zona final de la Calle 20 Sur en la que su máxima curva de sales es de 600 partes por millón.

4) Se observa una pequeña zona dañada al sur del Distrito de Riego, cerca del límite en lo que cuenta como máxima curva de sales con 600 partes por millón.

5) Por último se localiza una zona afectada por sales al final de la Calle 4 e intercepción del límite del Distrito de Riego No. 51 en la que se registran concentraciones hasta de 1,000 partes por millón.

Las sales totales registradas en estos estudios reportaron año tras año en parte por millón y se clasificaron según se muestra en el Cuadro 2.

DISCUSION

De los resultados obtenidos por medio del constante muestreo que año tras año se ha venido realizando, podemos observar que en el manto acuífero que abastece la superficie regable del Distrito de Riego No. 51, Costa de Hermosillo, se está abatiendo paulatinamente ya que las recuperaciones no compensan a las extracciones que se llevan a cabo anualmente para satisfacer las necesidades de los diferentes cultivos, lo que debe obligar al agricultor a mejorar sus técnicas para obtener el mayor aprovechamiento del agua.

Según los reportes en Junio de 1964 y Diciembre de 1965 puede observarse claramente las zonas dañadas en ambos planos en las que en el año de 1964 fue menor la concentración taneo en la zona de "El Carrizal" como al final de la Calle 28 Sur en comparación con el siguiente año, siendo 200 partes por millón menos en la primera y 1,700 partes por millón en la segunda zona.

Ya desde el año de 1964 puede notarse que empiezan a aflorar las sales en la región del final de la Calle 4 Sur, en cambio tengamos en observación la parte noreste de la zona de riego del Distrito, en la que en algunos años subsecuentes a éstos, esta pequeña zona permaneco con agua de tercera clase o 525 partes por millón o más, la cual al transcurso del tiempo llega a desaparecer.

En el año de 1966, sigue el análisis realizado, se nota el aumento de salinidad de la zona final de la Calle 28 Sur,

la que aumenta 1,000 partes por millón de un año a otro.

El aumento de estas sales están registradas en los pozos 49-13 especialmente, afectando además los pozos 48-01 y 48-02 debido posiblemente al exceso de extracción o a la proximidad del mar o que estos pozos se encuentran localizados en una fuente hidráulica con concentraciones altas de salinidad como sucede en la región de la parte norte de Siete Cerros que aunque no es de cuidado su concentración de sales ya que afloran en algunas ocasiones, cuando el tiempo de extracción es excesivo, en esta zona debe suponerse que estará mantenida por corrientes internas producto de ramificaciones dependientes del mar, o también por alguna vena dependiente de la laguna o Playa de Noriega que al infiltrarse el agua que recibe del río Bacuachi lleva gran cantidad de sales disueltas.

En el análisis obtenido en el año de 1967, se registra la mayor concentración de sales habidas en el período comprendido de 1964 a 1969 siendo de 5,200 partes por millón, registradas en el pozo 49-13, siguiéndole con 1,000 partes por millón los pozos 48-01 y 48-02 con una concentración de cloruros de 2,000 y 1,000 partes por millón la cual indica agua completamente inútil. Como medida a este grave problema se optó por sellar este pozo el cual siguiendo con las extracciones acostumbradas llegaría el peligro de ser fuente de sales totales ya que al aumentar la concentración de sales, los pozos vecinos en igual forma aumentarían su concentración, pues servirían de puente de conducción, consideran-

do que la fuente de sales proviene del mar, la cual se inclinna más a la realidad ya que al sellarse el pozo 49-13 bajó considerablemente la concentración de sales en los pozos vecinos como puede verse en la Figura 6, en la que el área registrada con 800 partes por millón afectó según los pozos que habrían permanecido con buena calidad de agua con una concentración de sales no mayor de 400 partes por millón, lo que indica que el almacenamiento de sales que contenía el pozo 49-13 se distribuyó en estos pozos, extrayendo el agua que éste debía extraer, una vez que toda esta agua salada fue desalojada empezaron a bajar las concentraciones de los pozos vecinos siendo la mayor concentración de sales en el tercer año después de sellarse, de 1,000 partes por millón en la parte antes afectada con 5,200 y permaneciendo con menos de 400 partes por millón en los pozos que antes habían mencionado con esta concentración de sales y con 200 partes por millón de cloruros en la primera zona y 30 partes por millollón en la segunda.

En la Figura 8 puede notarse que en la parte de la zona "El Carrizal" la curva de concentraciones va de 525 a 800 partes por millón generalmente, aunque hay un pozo con una concentración de 3,200 partes por millón afectado tal vez por corriente interna de la Laguna o Playa de Noriega, que según el análisis del siguiente año desaparece. Por otra parte en la zona final de la Calle 28 Sur la máxima curva de sales permanece casi constante, alternándose solo en 200 partes por millón pero sin cambiar su clasificación de tercera

clase según Scofield.

En la zona del litoral (zona cercana al mar) en la que posiblemente se esté presentando la intrusión salina debido a que gradualmente aumenta la concentración de sales año tras año abarcando zonas que en años anteriores no habían sido afectadas como puede observarse en la Figura 9 en la que se incluyen las zonas final de la Calle 4 Sur y parte de la zona sur del Distrito, apareciendo de nuevo con 600 partes por millón la región norte del mismo, en la cual se localizan pozos nuevos que en sus primeras extracciones generalmente deshechan sus sales totales cuando existen ciertas acumulaciones de ellas.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente estudio se empezó debido a la necesidad de conocer la situación salina del Distrito de Riego No. 51, Costa de Hermosillo, empezando en el año de 1964 con el total de los pozos profundos que irrigan el Distrito, analizando dichas muestras en el laboratorio de Ingeniería de Riego y Drenaje de este Distrito dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

El muestreo de los pozos se llevó a cabo directamente del tubo de descarga al frasco, éste lavado perfectamente y cerrado inmediatamente para evitar contaminación alguna.

Al terminar el análisis correspondiente a cada año se procedió a la elaboración de un plano en el que se configuraron los pozos con igual cantidad de sales totales en curvas con intervalos de 50 partes por millón entre una y otra.

En el análisis reportado en Junio de 1964 la curva máxima de sales totales es de 1,300 partes por millón en la zona final de la Calle 28 Sur, afectada por los pozos 49-13, 48-01 y 48-02, aumentando en el siguiente análisis a 2,300 y 3,000 partes por millón o sea de agua de quinta clase o inútil.

En el análisis reportado en Diciembre de 1966, los pozos en los que se reportaron de 2,300 y 3,000 partes por millón, tuvo un descenso de 1,000 partes por millón de sales debido a las medidas de precaución que se tomaron al suspender el exceso de extracciones que se venían llevando a cabo.

En el año de 1967, se registró un aumento de sales totales en esta zona, llegando a 5,200 partes por millón por lo que se procedió a no usarse el pozo 49-13 que era prácticamente la fuente salina de esa región. En la zona "El Carrizal", la mayor concentración de este año es de 1,000 partes por millón y 200 partes por millón de cloruros.

Como consecuencia de haber sellado el pozo 49-13 localizado en la zona al final de la Calle 28 Sur, la máxima curva de sales fue de 800 partes por millón, baja en comparación con el año de 1967 que fue de 5,200 partes por millón, teniendo como efecto de la clausura del pozo que fueron dañados con esta concentración, pozos que antes se conservaban entre 250 y 400 partes por millón.

En el análisis llevado a cabo en Agosto de 1969, se ve claramente la afluencia de la intrusión salina ya que la mayor parte de la zona cercana al mar se encuentra dañada con agua clasificada en tercera clase, tolerable para la agricultura, por ahora, ya que al seguir aumentando y cubriendo el total del litoral, vendrá el aumento de concentración de sales totales.

En el análisis de 1970, llevado a cabo en Diciembre se observa claramente que casi la totalidad de la parte cercana al mar ha sido afectada, encontrándose lugares afectados donde antes se encontraba exento de salinidad.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos estableció la Oficinas de Ingeniería de Riego y Drenaje en todos los Distritos con el fin de ayudar a resolver todos los problemas rela

tivos a riego, drenaje y salinidad, con las recomendaciones pertinentes y datos de laboratorio físico-químicos de estudios realizados en diferente zona con el fin de alcanzar las normas y métodos más apropiados para obtener el uso racional del agua de riego y el mejoramiento de los suelos dañados por la salinidad, debiendo tener en cuenta la superficie cultivable ideal para evitar el exceso de agua extraída y el aumento de la mala calidad de la misma; así mismo informarse sobre los planos que se establecen anualmente en la Secretaría de Recursos Hidráulicos con el fin de tener en cuenta las zonas en que aumenta la concentración de sales totales solubles y cuidar sus extracciones tomando las medidas perti nentes.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ANONIMO. Salinidad del suelo y productividad de los cultivos. Gaceta Agrícola. Año XV. No. 354. p. 3. Abril 1971.
- 2) BURQUEZ C., V. Interpretación de resultados. Boletín Informativo No. 24 y 25 Del Distrito de Riego No. 51, Costa de Hermosillo, Sonora. 11p. 1970.
- 3) DE LA PEÑA, I. Trabajos sobre salinidad. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XVIII, No. 1 y 2. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F. 36 p. 1964.
- 4) DE LA PEÑA, I. Experimentos sobre salinidad en la zona del "Río Muerto" localizada dentro del Distrito de Riego del Río Yaqui, Sonora. Memoria. Tomo XI. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F. 1964.
- 5) ESCAMILLA A., M. Estudio de suelos afectados por sales en un área de bombeo con pozos profundos en el Valle de Mexicali. Universidad de Sonora. Escuela de Agricultura y Ganadería. Hermosillo, Sonora. p. 3-4. 1967. (Tesis mimeografiada).
- 6) FIGUEROA V., G. El estudio del agua subterránea. Intrusión salina. Ingeniería Hidráulica en México. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F. Vol. XXII. No. 4. 509 p. 1968.
- 7) HUERTA M., R. Apuntes de fertilidad del suelo; fuentes de sales solubles. Universidad de Sonora. Escuela de Agricultura y Ganadería. Hermosillo, Sonora. 1964.
- 8) ISRAELSEN y HANSEN. Principios y aplicación de riegos. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España. p. 201-203. 1965.
- 9) LUTHIN, J. N. Drenaje de tierras agrícolas. Editorial Limusa Wiley, S.A. México, D.F. 560 p. 1967.
- 10) RICHARD, L. A. Suelos salinos sódicos. La calidad del agua para riego. Imprenta Arana, S.A. México, D.F. 75 p. 1964.

- 11) THOMPSON, L. M. El suelo y su fertilidad. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España. 169 p. 1965.
- 12) UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Agriculture Handbook No. 60. Washington, D.C. Bulletin 190. 1958.
- 13) VERNE, H. S. California Agriculture. Agric. Exp. Sta. Agric. Ext. Serv. University of California. Circular 456.

A P E N D I C E

Cuadro 1. Clasificación de agua de riego basada en la salinidad efectiva expresada en me/lt.

Condición del Suelo	C L A S E		
	Primera	Segunda	Tercera
1) Poco o nada de lavado	3	3-5	5
2) Algo de lavado, pero restringido percolación profunda lenta.	5	5-10	10
3) Suelos abiertos. Percolación profunda rápida.	7	7-15	15

Cuadro 2. Clasificación de las aguas de riego según Scofield.

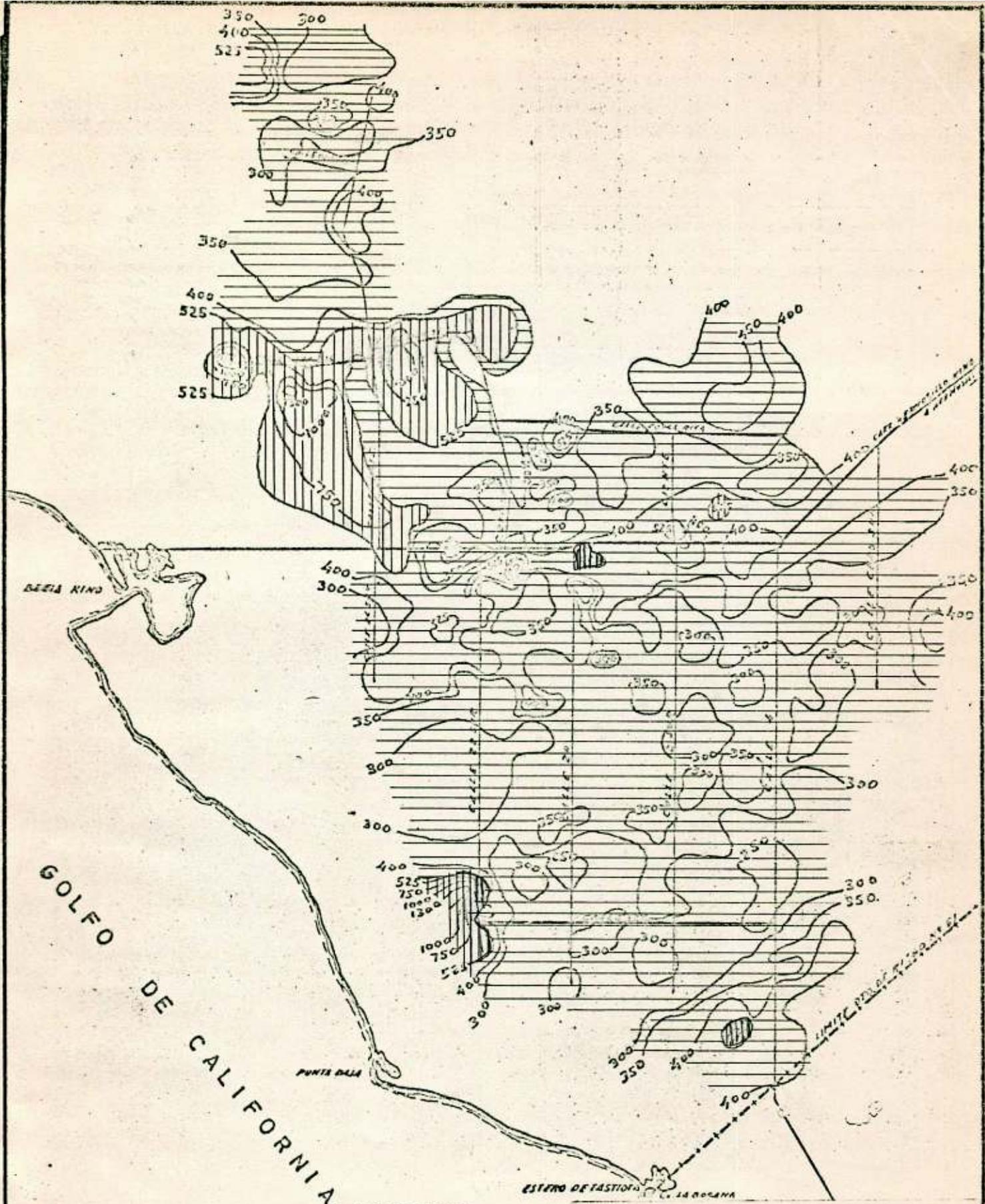
Clase de Agua	Concentración de Sales Totales
1ra. Clase o muy buena	Menor de 175
2da. Clase o buena	de 175 a 525
3ra. Clase o tolerable	de 525 a 1,400
4ta. Clase o dudosa	de 1,400 a 2,100
5ta. Clase o inútil	Mayor de 2,100

Cuadro 3. Fórmulas de por ciento de sodio e índice de permeabilidad.

$$\text{PSP} = \frac{(\text{Na}^+)}{\text{Salinidad Efectiva}} \cdot 100\% \quad \text{Donde todos los conceptos se expresan en me/lt.}$$

$$\text{Índice de Permeabilidad} = \frac{(\text{Na}^+) + (\text{HNO}_3)}{(\text{Ca}^{++}) + (\text{Mg}^{++}) + (\text{Na}^+)}$$

Donde todos los valores se expresan en me/lt.

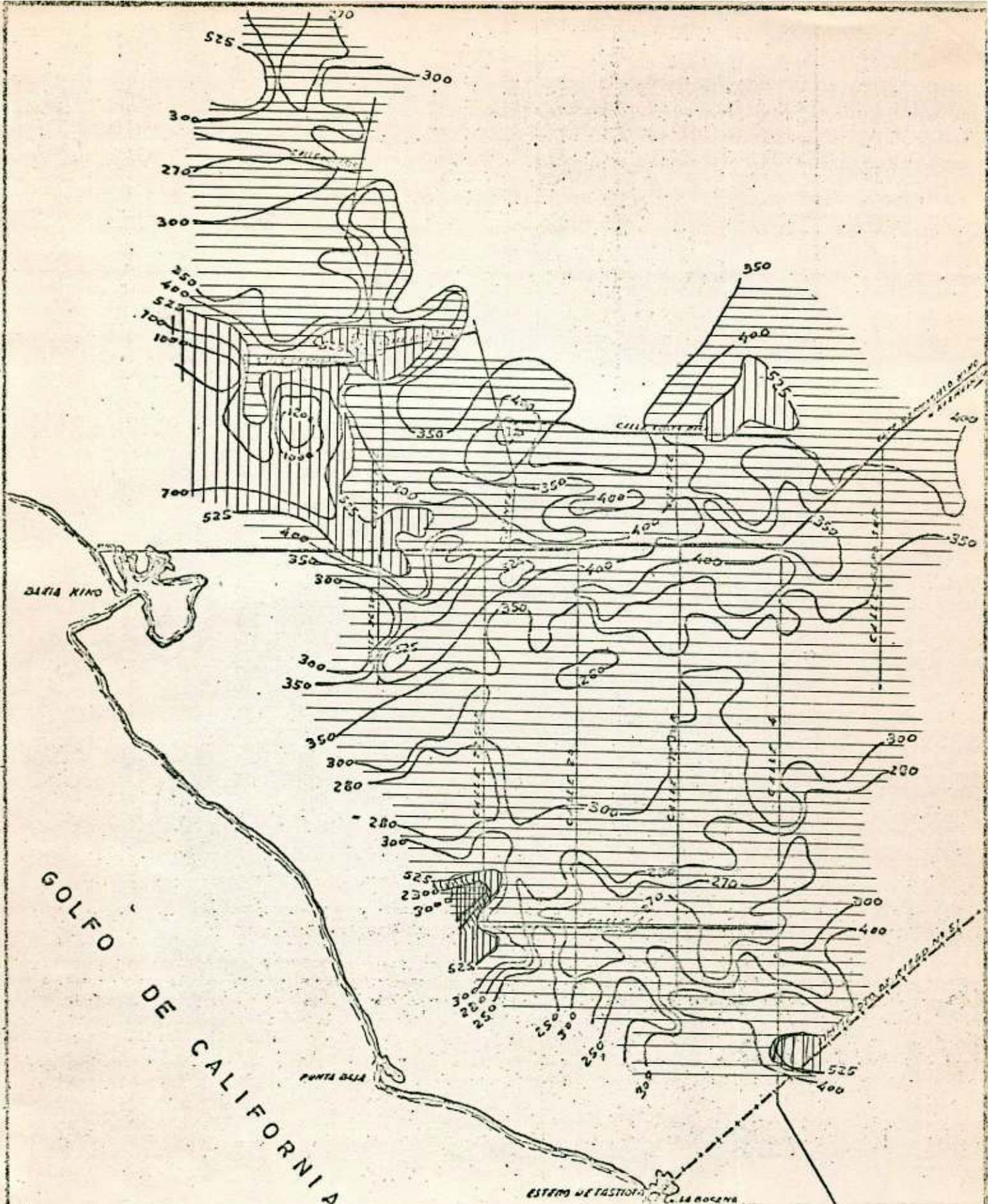


CLASIFICACION

-  BUENA DE 175 a 525 P.P.M.
-  TOLERABLE DE 525 a 1400 P.P.M.
-  DUDOSA DE 1400 a 2100 P.P.M.
-  INUTIL MAYOR DE 2100 P.P.M.

FIGURA 1

CURVAS DE SALES TOTALES
HASTA JUNIO DE 1964



CLASIFICACION

-  BUENA DE 175 a 525 P.P.M.
-  TOLERABLE DE 525 a 1400 P.P.M.
-  DUDOSA DE 1400 a 2100 P.P.M.
-  INUTIL MAYOR DE 2100 P.P.M.

FIGURA 2

CURVAS DE SALES TOTALES
HASTA DIC. DE 1965.

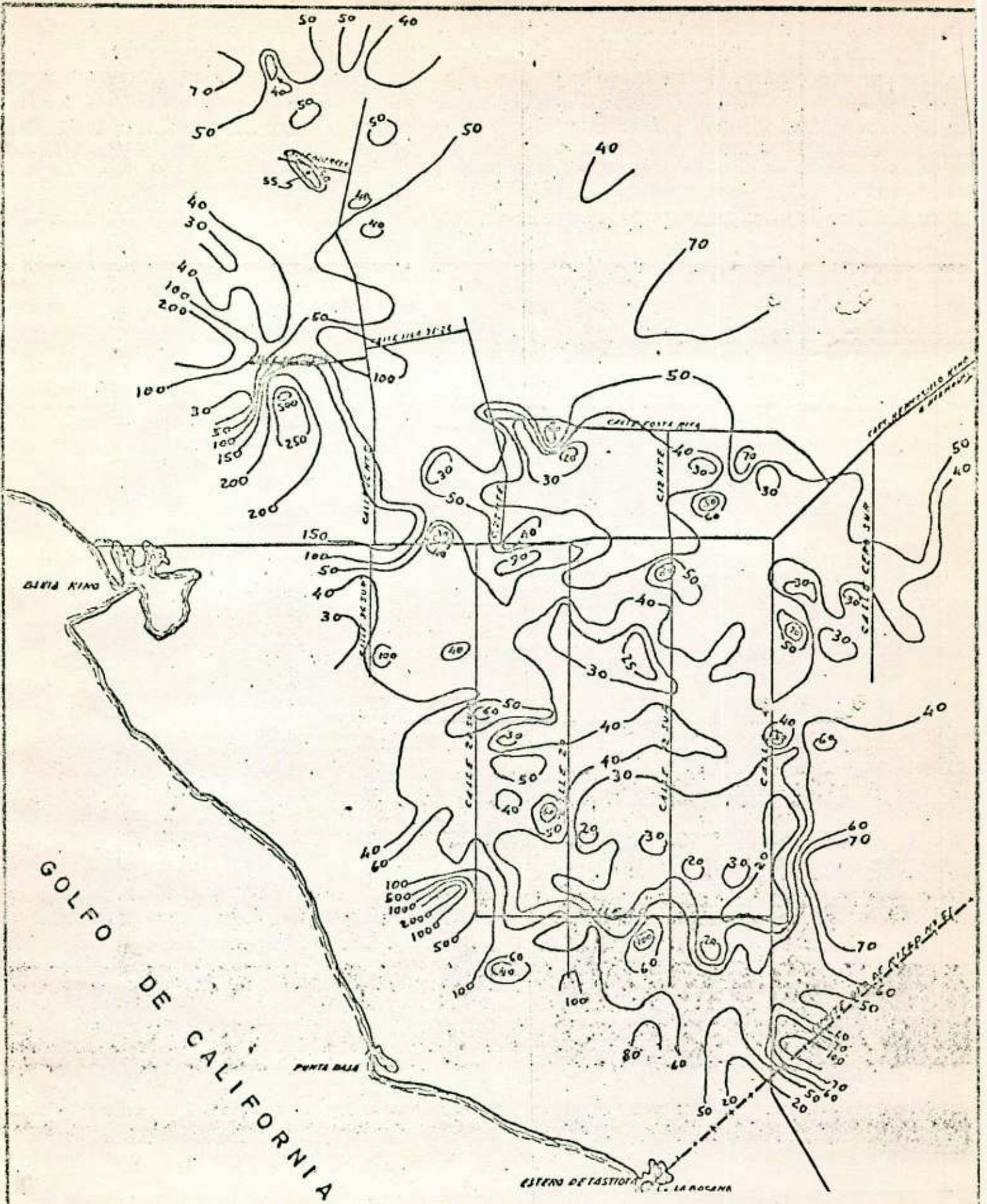
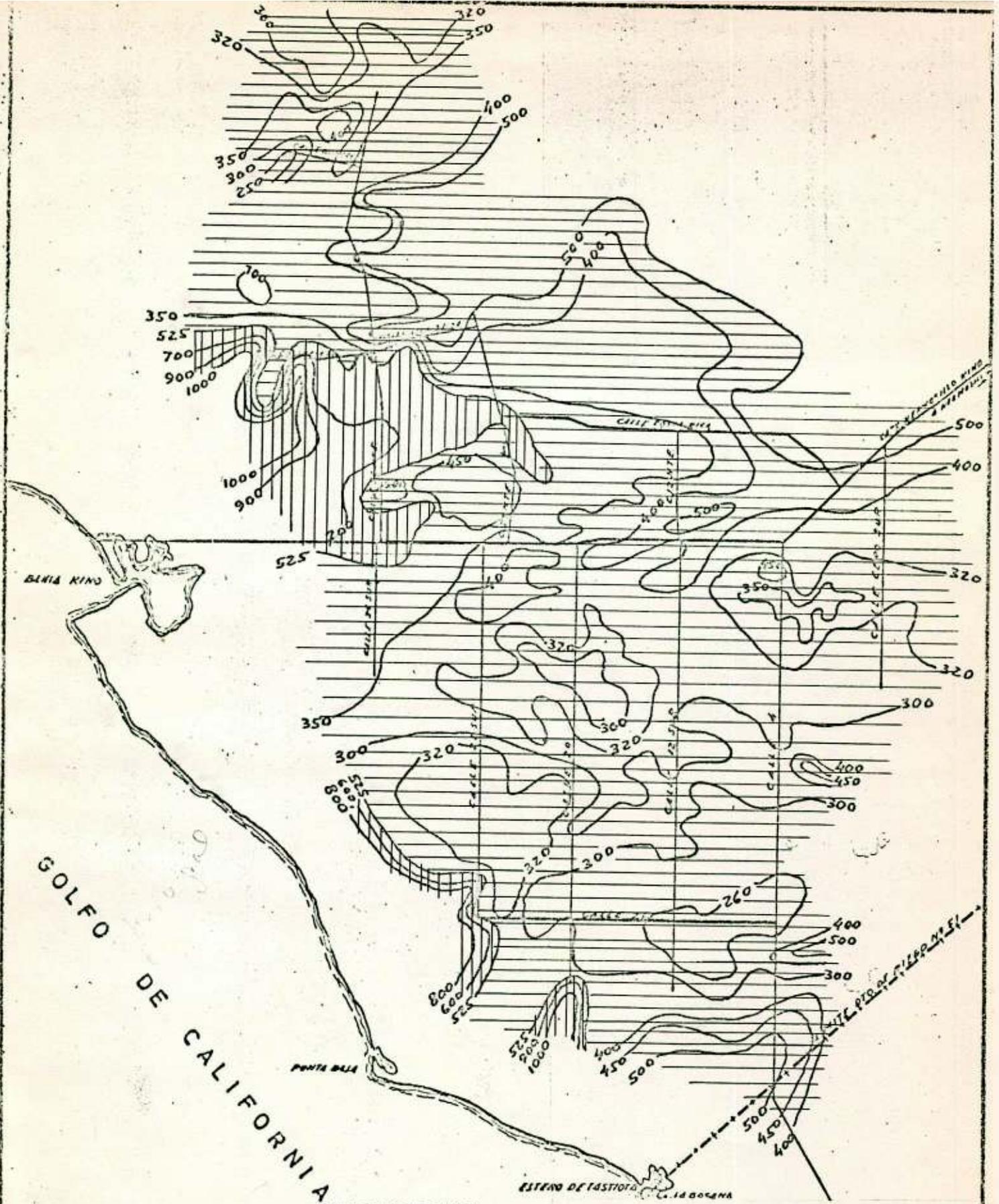


FIGURA 5

CURVAS DE CLORUROS EN P.P.M.
HASTA MAYO DE 1967.



- CLASIFICACION**
-  BUENA DE 175 a 525 P.P.M.
 -  TOLERABLE DE 525 a 1400 P.P.M.
 -  DUDOSA DE 1400 a 2100 P.P.M.
 -  INUTIL MAYOR 2100 P.P.M.

FIGURA 6

CURVAS DE SALES TOTALES
HASTA FEBRERO DE 1968.

NEZAHUACILLO, SON., NOV. DE 1970. ESCALA 1:400,000

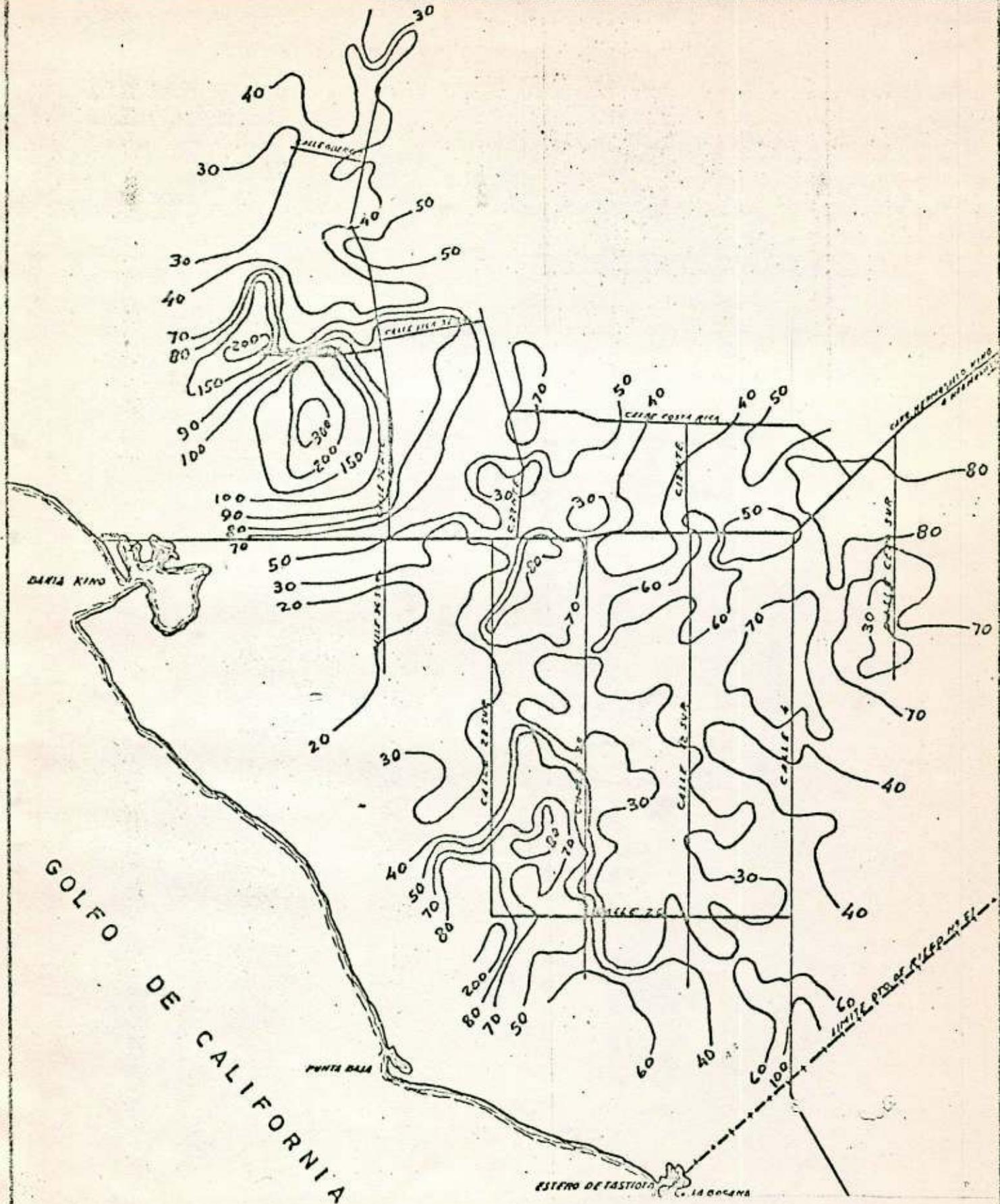
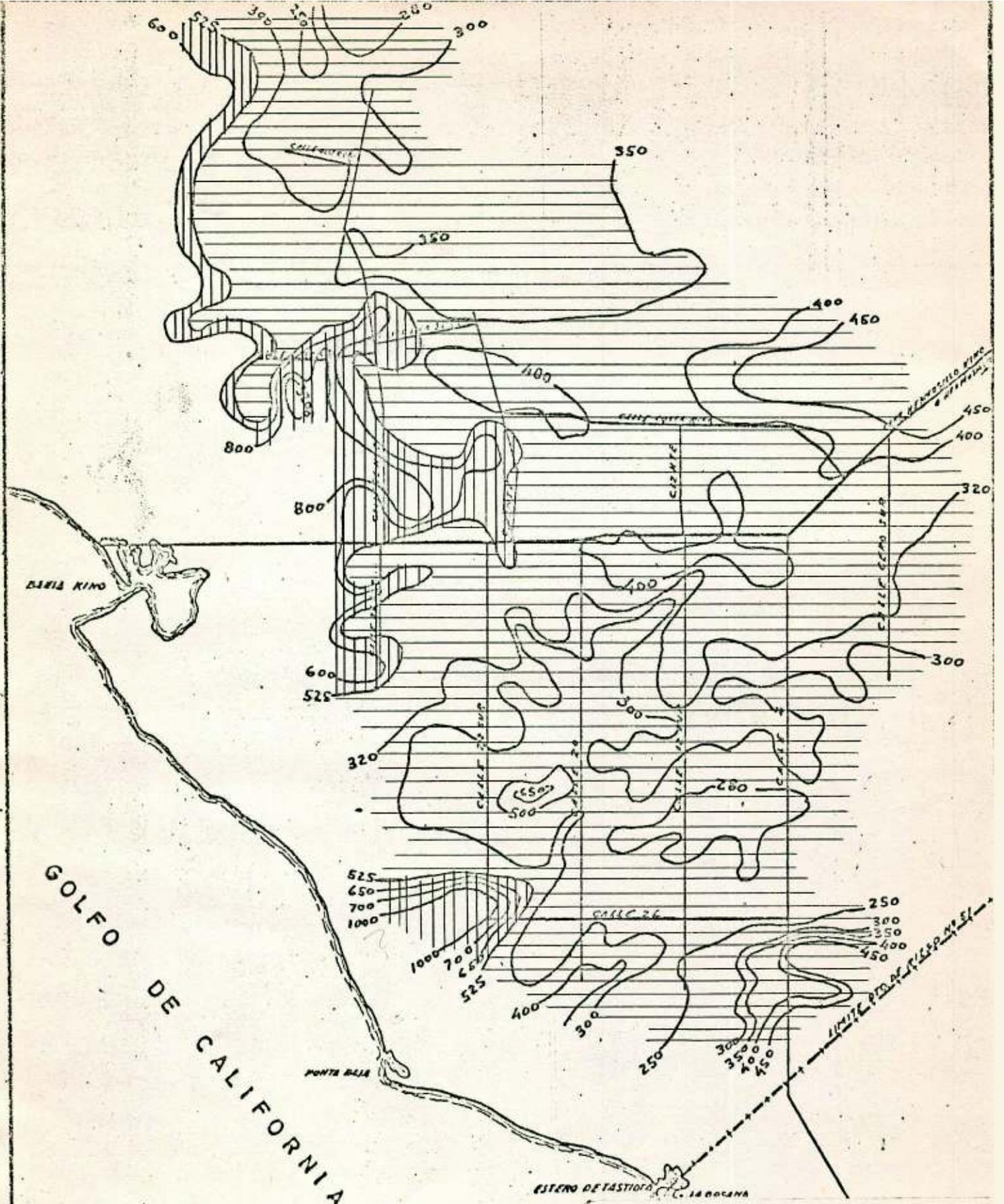


FIGURA 7

CURVAS DE CLORUROS EN PPM.
HASTA FEBRERO DE 1963.

HERNÁNDEZ, S.O.V. NOV. DE 1970. ESCALA 1:500,000



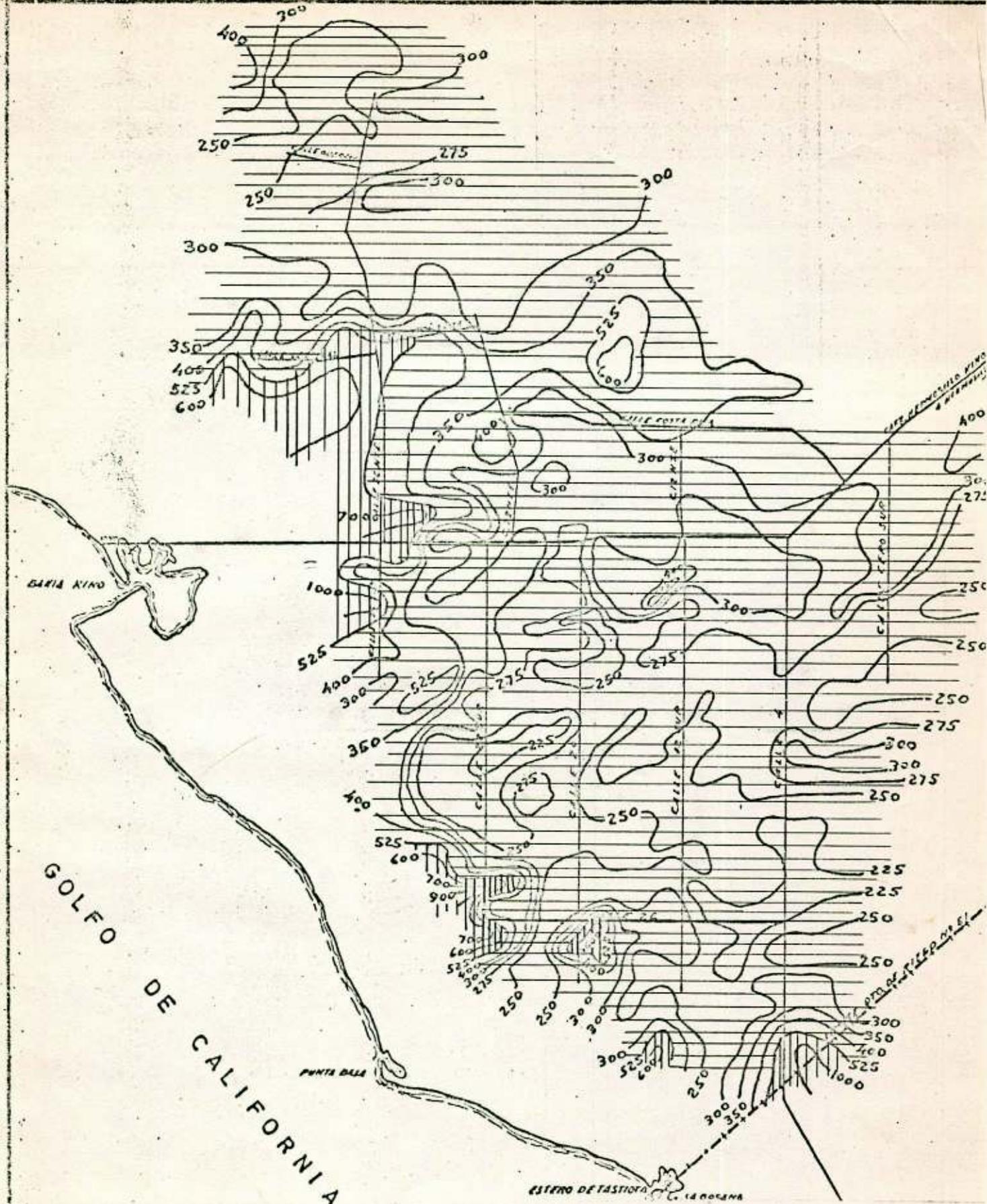
CLASIFICACION

-  BUENA DE 175 a 525 P.P.M.
-  TOLERABLE DE 525 a 1400 P.P.M.
-  DUDOSA DE 1400 a 2100 P.P.M.
-  INUTIL MAYOR DE 2100 P.P.M.

FIGURA 8

CURVAS DE SALES TOTALES
HASTA AGOSTO DE 1969.

HEERMOSILLO, SON. NOV. DE 1970 ESCALA 1:400,000



CLASIFICACION

-  BUENA DE 175 a 525 P.P.M.
-  TOLERABLE DE 525 a 1400 P.P.M.
-  DUDOSA DE 1400 a 2100 P.P.M.
-  INUTIL MAYOR DE 2100 P.P.M.

FIGURA 9

CURVAS DE SALES TOTALES
HASTA DICIEMBRE DE 1970

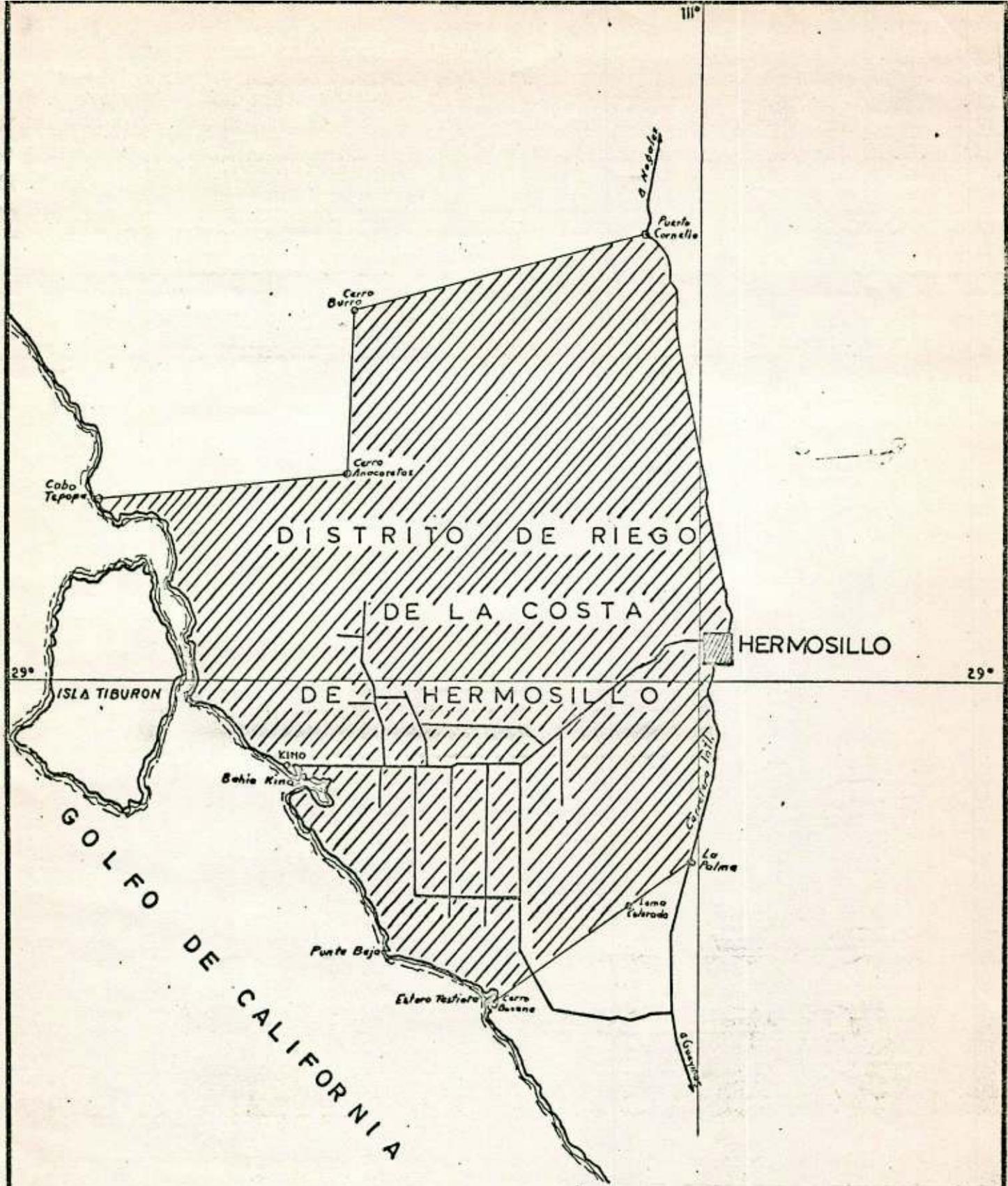


FIGURA 10

LOCALIZACION DEL DISTRITO DE RIEGO DE LA COSTA DE HERMOSILLO

ESCALA 1:1200000