

UNIVERSIDAD DE SONORA

ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA

“ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO PRELIMINAR DE LA PARTE CENTRAL
DEL ACUIFERO DE URES, SONORA”

T E S I S

Luis José Carrasco Vidal

OCTUBRE DE 1987

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

"ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO PRELIMINAR DE LA PARTE CENTRAL DEL
ACUIFERO DE URES, SONORA"

TESIS

Sometido a la consideración de la
Escuela de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

por

Luis José Carrasco Vidal

Como requisito parcial para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo
con especialidad en Irrigación.

Octubre de 1987

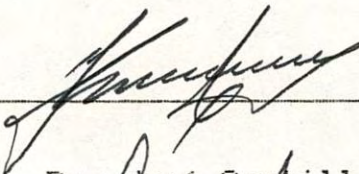
Esta tesis fué realizada bajo la dirección del consejo particular, aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de :

INGENIERO AGRONOMO EN :

IRRIGACION

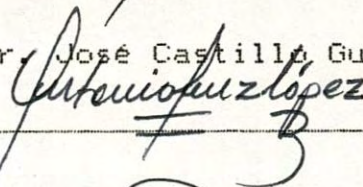
CONSEJO PARTICULAR

ASESOR: _____



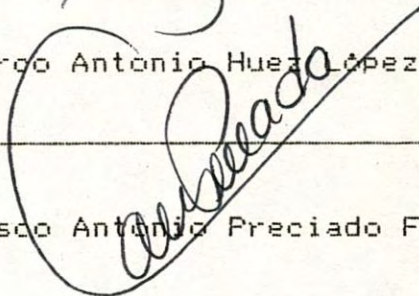
Dr. José Castillo Gurrola

CONSEJERO _____



M.C. Marco Antonio Huez López

CONSEJERO _____



Ing. Francisco Antonio Preciado Flores

AGRADECIMIENTOS

Mi mas sincero agradecimiento al Dr. José Castillo Gurrola por sus consejos y esfuerzo realizado; al M. C. Marco Antonio Huez y al Ing. Fco. Antonio Preciado por sus consejos en el diseño y realización del presente trabajo de tesis.

Al Ing. Carlos Jesus Arias, por las facilidades brindadas para la realización de está tesis.

Al Ing. Roberto Garcia Soto, por la ayuda prestada para la realización del presente trabajo.

Al Geologo Mariano Morales, por su apoyo y esfuerzo en realizar y proporcionar la información geologica de la zona de estudio.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron para la realización del presente trabajo, gracias por su ayuda.

DEDICATORIA

A mis Padres .

y hermanos

Por alentarme a seguir mis estudios y sus años de sacrificio y espera en la realización de mi carrera profesional.

A Alba Gloria

Por su amor y alentarme a seguir adelante.

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN_____	x
INTRODUCCION_____	1
LITERATURA REVISADA_____	3
Geología_____	3
Hidrología Superficial_____	4
Hidrología Subterránea_____	5
Calidad del Agua Subterránea_____	7
MATERIAL Y METODOS_____	18
Ubicación de la Zona de Estudio_____	18
Hidrogeoquímica (técnicas de estudio)_____	23
Clasificación de Aguas (técnicas de estudio)_	32
RESULTADOS_____	37
Geología Regional_____	37
Rocas Sedimentarias_____	39
Rocas Igneas (plutónicas e intrusivas)_____	41
Rocas Igneas (efusivas)_____	42
Rocas Metamórficas_____	44
Direcciones del Flujo Subterráneo_____	47
Condiciones a los Límites_____	47
Hidrogeoquímica_____	49
Clasificación de las Aguas_____	62
Estimación del peligro de Sodio en las Aguas de Riego_____	63
CONCLUSIONES_____	80
RECOMENDACIONES_____	82_
BIBLIOGRAFIA_____	83

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pag.
1	Valores utilizados para el cálculo de los pHe* para las aguas de riego_____	16
2	Temperaturas medias mensuales_____	24
3	Precipitaciones medias mensuales_____	26
4	Evaporaciones Totales mensuales_____	27
5	Clasificación de acuerdo a los sólidos totales disueltos_____	29
6	Tipo de anion fundamental de acuerdo a la concentración del ion_____	30
7	Valores de la relación rMg^{++} / rCa^{++} de acuerdo a las rocas de los acuíferos____	31
8	Censo de aprovechamientos_____	46
9	Resultados de los análisis químicos de las muestras de agua recolectadas en la zona de estudio_____	50
10	Cálculos de las cantidades en reacción en porciento _____	65
11	Cálculos de los porcentajes de los análisis químicos con respecto al total de las cantidades en reacción por cien _____	67
12	Clasificación de aguas de acuerdo a los iones dominantes_____	69

13	Comparaciones iónicas (formulas iónicas) en orden decreciente de las cantidades en reacción por cien, (%r)_____	73
14	Clasificación de aguas en la zona de estudio en Ures, Sonora, de acuerdo al diagrama de Wilcox_____	75
15	Resultados obtenidos de la estimación del peligro de sodio en las aguas para riego de la zona de estudio_____	79

INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Pag.
1	Localización del Area de Estudio_____	19
2	Diagrama Logaritmico de H. Schoeller_	52
3	Diagrama de Stiff Modificado_____	55
4	Diagramas Circulares_____	57
5	Diagrama de Piper-Hill-Langelier_____	71
6	Diagrama para la Clasificación de las aguas de Riego_____	72

INDICE DE PLANOS

Plano No.		Pag.
1	Escurrimiento Superficial_____	22
2	Isoyetas_____	25
3	Fotogeológico_____	40
4	Configuración de Niveles Estáticos_____	48
5	Conductividad Eléctrica_____	54
6	Bicarbonatos HCO (meq/lt)_____	58
7	Relación rMg^{++} / rCa^{++} _____	60
8	Relación $rSO^= / rCl^-$ _____	61
9	Relación $rNa^+ / (rNa^+ + rCa^{++} + rMg^{++})$ _____	77
10	Sólidos Totales Disueltos_____	78

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objeto recabar, analizar y complementar la información existente de la parte central del acuífero localizado en la zona de Ures, en las riveras del río Sonora, comprendida entre los afluentes del arroyo Sunibiate y el camino a Santiago de Ures.

Por lo que se refiere a la geología regional, el área está constituida por depósitos aluviales del Cuaternario, siendo material de acarreo que se presentan en forma de grava, arena y arcilla. Limitado a sus alrededores por terrazas fluviales y por la formación Baucarit constituidas por conglomerados y areniscas del terceario.

Los aprovechamientos de los recursos hidráulicos son en su mayoría subterráneos por medio de norias y pozos de bombeo, de las cuales se tomaron 30 muestras.

Se elaboraron planos hidrogeoquímicos para poder determinar las características químicas de las aguas del acuífero.

Se clasificaron las aguas del acuífero de acuerdo a la dominancia de sus componentes, así como por su salinidad y el contenido de sólidos totales, obteniéndose familias de aguas bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas mixtas casi en su totalidad, además de que son aguas condicionadas para riego por ser de tipo C2-S1 y C3-S1, efectuando también una estimación del posible peligro de salinidad de los suelos utilizando estas aguas para riego.

INTRODUCCION

Siendo las reservas de agua subterránea varias veces mayor que las aguas superficiales y contando además con algunas ventajas, es necesario realizar estudios que nos lleven a conocer cuantitativa y cualitativamente éste recurso indispensable para el desarrollo agrícola, industrial y doméstico.

La geología proporciona el marco en el que se produce la circulación y almacenamiento del agua subterránea. Mediante la geología superficial y subterránea, se estudian los procesos tectónicos y se relacionan con propiedades de las rocas como su permeabilidad y capacidad de almacenamiento.

La geoquímica ayuda a conocer el comportamiento de algunos elementos químicos, su distribución, combinaciones entre si y sus migraciones en la corteza terrestre. De esto se deriva que en las regiones aridas y semiáridas las sales solubles originadas por el interperismo tienden a acumularse en los suelos.

El objetivo de éstos estudios es el conocer el origen geológico de las formaciones que constituyen un acuífero, para después abocarse a los aspectos hidráulicos, hidrológicos, geoquímicos, hidrogeológicos y finalmente poder saber el comportamiento dinámico del agua subterránea.

Realizar un análisis de la información para comprender el origen de las sales de acuerdo al tipo de rocas que constituyen los límites del acuífero.

Establecimiento de los planos de distribución de los elementos químicos y sus relaciones, del agua subterránea.

Se estimarán algunos parámetros para evaluar la calidad de dicha agua.

El presente trabajo se enfoca exclusivamente en un estudio preliminar de la geología, geoquímica y aspectos fundamentales de hidrogeología en una extensión de 9 Km^2 , al Norte de Ures, Sonora.

LITERATURA REVISADA

GEOLOGIA

La aplicación de la geología en estudios hidrogeológicos es de suma importancia, para poder establecer la diferenciación hidrológica, indicándonos las propiedades hidráulicas de los diferentes tipos de rocas, su capacidad de almacenamiento y recarga, así como su calidad química (41).

Un método de estudio, es basado en el análisis de las fotografías aéreas y de imágenes de satélite. Las fotografías aéreas por lo general son en blanco y negro, aunque también son de color y según el caso infrarrojas. Las escalas más usuales son 1:25,000 , 1:50,000 y 1:75,000. Este análisis de las fotografías aéreas es de gran utilidad porque nos dan las características principales de la topografía y el drenaje, la naturaleza de las rocas y sus estructuras geológicas. Las imágenes de satélite nos proporcionan información real y confiable a nivel regional ya que se encuentran en escalas 1:1,000,000 , ampliadas a 1:250,000 , en sus diferentes bandas nos muestran en amplitud la litología y estructuras a nivel regional, depósitos aluviales, cuerpos someros de aguas, anomalías térmicas de acuerdo al sensor utilizado para la realización de dicha imagen.

Toda la información obtenida mediante las interpretaciones de las fotografías aéreas ó imágenes de

satélite deben complementarse con verificaciones de campo. Es de gran ayuda y de suma importancia la obtención de un análisis petrográfico, además obtener información sobre el fracturamiento de la región de interés. Una vez procesado los datos recopilados en el campo así como de los estudios anteriores se podrá elaborar planos fotogeológicos y su explicación (7, 9, 26, 31, 40, 42).

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Los estudios hidrológicos resultan de gran utilidad en las exploraciones de agua subterránea, ya que pueden aportar información acerca de la cantidad de agua útil para la recarga de los acuíferos. La cantidad de agua útil esta íntimamente ligada con la precipitación, así como con las aguas superficiales que se encuentran en el área de interés (18, 41, 42).

Cursos y Puntos de Agua

El conocimiento de las diferentes corrientes que se encuentran en el área como ríos, arroyos, manantiales, pozos, etc. es de gran importancia para poder estudiar el tipo de escurrimiento, grados de escorrentias y el orden de drenajes (11, 17, 32).

Climatología

La finalidad de incluir un análisis climatológico en un estudio hidrogeológico es de situar la zona de estudio, en

las escalas cualitativas a las referencias de humedad y lluvias así como su distribución geográfica. Los parámetros medios mensuales de temperaturas, precipitaciones, así como la vegetación existente, nos determina el clima de la región y nos define algunos aspectos del comportamiento de los acuíferos. La clasificación más usada para la determinación de la climatología del lugar es la de Köppen (6, 14, 31, 42).

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

La hidrología subterránea es la rama de la hidrología que se ocupa de las aguas subterráneas, su yacimiento y movimiento, sus recargas y descargas, su origen, las propiedades de las rocas que influyan en su ocurrencia y almacenamiento, así como métodos empleados para la investigación, utilización y conservación de la misma (30, 41).

Condiciones a los Límites

Una vez realizados los estudios geológicos, geofísicos y el reconocimiento de la hidrología superficial se podrá definir la presencia, extensión, profundidad y espesor de las capas que existen en la zona de estudio, así como las posibles características de sus límites y de su formación geológica. Además nos dan una información detallada de las características de las capas de alimentación, profundidad y almacenamientos de acuíferos, la existencia de barreras impermeables así también en la facilidad ó dificultad de las

rocas para obstaculizar el flujo de agua en los acuíferos (1, 10, 15, 29).

Tipos de Acuíferos

Es considerado acuífero a las formaciones geológicas que pueden almacenar y ceder agua en cantidad aprovechable desde luego esta definición es muy relativa pues depende de las condiciones existentes en cada zona. Desde el punto de vista hidráulico, los acuíferos pueden clasificarse en tres tipos principales; confinados, semiconfinados y libres (13).

Un acuífero confinado es aquel que está limitado superior e inferiormente por formaciones relativamente impermeables que contienen agua a mayor presión que la atmosférica. Un acuífero semiconfinado es aquel que está limitado por formaciones menos permeables que el mismo, pero a través de las cuales puede recibir ó ceder volúmenes significativos de agua. En pozos que captan acuíferos confinados ó semiconfinados el agua asciende por arriba del techo del acuífero, la superficie imaginaria definida por el nivel del agua de los pozos que penetran este tipo de acuíferos reciben el nombre de niveles piezométricos, sus variaciones corresponden a cambios de la presión a la que está sometido el agua del acuífero. Los acuíferos confinados y semiconfinados pueden transformarse en libres, cuando la superficie piezométrica desciende bajo el techo del acuífero (13, 23, 24).

Se le conoce como acuífero libre cuando su límite superior es el nivel freático. Las variaciones de este nivel corresponden a variaciones en el espesor saturado del acuífero (13, 15).

Direcciones del Flujo Subterráneo

Cuando ya se cuentan con configuraciones de curvas de igual elevación del nivel estático, es posible determinar la red de flujo, en la cual se presenta la dirección que sigue el agua subterránea, los mecanismos naturales de recarga y descarga, esta última tiene lugar a través de manantiales y cauces, por evapotranspiración en áreas con niveles freáticos someros ó subterráneamente a cualquier masa de agua superficial (lagunas, lago, ó vaso), los gradientes hidráulicos y el comportamiento de sus fronteras. La trayectoria que sigue el agua subterránea y su velocidad depende de la permeabilidad de las rocas. A la malla formada por las líneas equipotenciales y líneas de corrientes se le llama red de flujo (23, 24, 31, 42).

Calidad del Agua Subterránea

Para conocer la calidad de agua subterránea de un acuífero es necesario incluir el estudio de la geoquímica del agua, la cual nos muestra el comportamiento de las diferentes sales solubles encontradas en las aguas subterráneas y su relación con materiales disueltos debido al contacto con

rocas existentes en el acuífero, sus elementos químicos, su distribución, combinaciones entre si y su posible influencia con la superficie terrestre (2, 21, 41, 42).

Muestreo del agua

La mayor parte de los materiales con que se trabaja en hidrogeoquímica son heterogéneos y anisótropos, por lo que pueden encontrarse considerables diferencias en la composición química del agua tanto vertical como horizontalmente en los almacenamientos de agua subterránea. La obtención de muestras representativas dependerá grandemente de la técnica de muestreo.

Los principales factores a considerar en un programa de muestreo de agua para análisis químico, exceptuando limitaciones de carácter administrativo son; importancia y la calidad del estudio, extensión superficial, cantidad y calidad de datos disponibles, zonas con existencia de agua de mala calidad, número de pozos disponibles, así como el número probable de acuíferos de acuerdo con los cortes litológicos de los aprovechamientos con que se cuenten, cantidad de trabajo de laboratorio y condiciones locales de la zona (41).

Con respecto a cada muestra individual es necesario que sea obtenida con los siguientes cuidados: el recipiente donde se colocará la muestra deberá ser de vidrio o polietileno; el volumen de la muestra deberá ser de uno a dos litros; el recipiente deberá enjuagarse con agua de la fuente a muestrear y deberá llenarse completamente para evitar

gasificación; cuando la fuente a muestrear sea un pozo de bombeo equipado es necesario que el tiempo transcurrido entre la toma y el inicio del bombeo sea por lo menos dos horas; los recipientes deberán numerarse en el campo y localizarse en un plano; y determinar los valores de pH, temperatura y la conductividad eléctrica. Cuando la fuente de muestreo carece de equipo de bombeo, es necesario utilizar aparatos para la toma de las muestras, los cuales una vez colocados a la profundidad deseada, son abiertos dejando que el agua penetre en el envase, una vez lleno el depósito es obturado e izado a la superficie (7, 23, 41).

Tipos y formas de expresión de los análisis

En un estudio hidrogeoquímico, los análisis que se llevan al cabo son de tipo físico, químico y bacteriológicos. El primero tiene por objeto efectuar algunas determinaciones de carácter físico como son: temperatura, color, olor, turbiedad y sabor (43).

Los análisis químicos normales del agua usualmente reportan los cationes: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , aniones como: HCO_3^- , CO_3^{--} , SO_4^{--} , Cl^- , y a veces también NO_3^- , (28). Además otras características como los sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica (C.E.) y dureza (4, 28, 30), y en análisis más detallados, flúor, bromuro, silicio (usualmente SiO_2), gases disueltos y boro, cobre, zinc, cadmio y arsenico cuando su influencia en la calidad del agua

es considerada de importancia (20).

Los resultados de los análisis químicos practicados a las muestras de agua, son expresados en las siguientes unidades (22, 23);

ppm= partes por millón

mg/l= miligramos por litro

meq/l= miliequivalentes por litro

eqm= equivalentes por millón

Las unidades están relacionadas por las formulas;

$$\text{ppm} = \frac{\text{miligramos por litro}}{\text{peso específico del agua}}$$

$$\text{meq/lt} = \frac{\text{peso del elemento en solución}}{\text{peso equivalente}}$$

$$\text{eqm} = \frac{\text{concentración del ion en ppm}}{\text{peso equivalente}}$$

La diferencia entre ppm y miligramos por litro es insignificante en el uso del agua, pero llega a ser significativa en agua salobre ó con mucho STD y en las aguas termales (4, 14, 23).

Clasificaciones Hidroquímicas

La representación de los análisis químicos es una necesidad que viene derivada del tratamiento de numerosos análisis. Para poder agruparlos y realizar clasificaciones con especial interés si se trata de estudios hidroquímicos de diferentes acuíferos.

Los diagramas más utilizados son, columnares o collins, triangulares de Piper-Hill-Langelier, de stiff modificado, el

semilogarítmico de H. Schoeller y los circulares (13, 32).

El primero consiste en representar en una columna a la izquierda los cationes en miliequivalentes, en el orden de abajo a arriba, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y una columna a la derecha en el mismo orden, CO_3^{--} , SO_4^{--} , Cl^- y por encima se anade CO_2 libre, las dos columnas han de tener la misma altura, ya que la suma de cationes y aniones a de coincidir (10, 38).

El segundo consta de dos triangulos combinados con un rombo, en ambos triangulos se representan cationes y aniones porcentuales, en la superficie rómbica queda representado el conjunto de todos los aniones, este diagrama se utiliza frecuentemente cuando se trabaja con grán número de análisis (9, 10, 23, 39).

El tercero se disponen cuatro rectas paralelas igualmente espaciadas, cortadas centralmente por una recta vertical, a la izquierda se disponen los cationes y en la derecha los aniones y cada recta toma un segmento proporcional al porcentaje de miliequivalentes por litro (meq/lt). obteniendose por unión de todos los segmentos en polígonos (10, 12, 14, 17).

El cuarto está compuesto de siete escalas logarítmicas equidistantes, correspondientes a los principales iones clasificados; cationes Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ más K^+ , aniones Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} , más HCO_3^- y NO_3^- , compuestas también de una escala disponible no graduada para un ion suplementario, de dos escalas de referencia de los miliequivalentes en los bordes

laterales y de una leyenda arriba a la derecha, que permite representar para cada agua el residuo seco (SID), la conductividad eléctrica, el grado hidrotimétrico y el pH. En este diagrama la similitud entre dos aguas conduce a polígonos idénticos, desplazados paralelamente uno de otro si los valores absolutos de los contenidos son diferentes y sobre puestos si son iguales, se puede indicar sobre las mismas escalas, los límites de potabilidad y finalmente se presta a analizar mezclas de diferentes aguas, se pueden representar aguas diluidas como las concentradas en un mismo diagrama.

La ordenación normal de las columnas de iones es de izquierda a derecha, Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- , SO_4^{--} , $\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$
 (7, 10, 17, 37).
 4 3 3

El quinto, se dibuja un círculo de radio proporcional al total de meq/lt disueltos. Este círculo se divide en sectores proporcionales a los porcentajes de los diversos componentes, se adaptan bien a ser utilizados en planos geohidroquímicos (10).

Los planos hidrogequímicos, consisten en colocar sobre un mapa de la región unas cifras, símbolos o figuras que representan la calidad química del agua en cada pozo ó fuente de la que se tengan datos.

Las cifras a utilizar pueden ser la concentración de algún o algunos iones, el residuo seco (STD), la conductividad eléctrica, alguna relación ó combinación de

números que indican de acuerdo con alguna clase la calidad química. Otras veces se pueden asociar a cada punto analizado, diagramas entre los cuales los mas adecuados son los de stiff y los circulares.

Cada uno de estos planos precisa de atención para tratar de sacar la información que contienen. A veces es posibles deducir la existencia de uno ó varios mantos acuíferos, ciertas condiciones geológicas y las zonas de alimentación etc, (7).

Clasificaciones Agronómicas

Las clasificaciones agronómicas más empleadas son las propuestas por Wilcox y por Scofield (15, 22). La primera es aplicable para aguas cuyo contenido de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio es muy bajo, ya que se usa como criterio de salinidad la conductividad eléctrica que registra las sales solubles, mientras que la segunda se basa en el contenido de sólidos totales disueltos en parte por millón. Otras clasificaciones usadas son la de Doneen basada en el término de salinidad efectiva, incluyendo este término a las sales permanentemente solubles y la de Stabler, basada en el coeficiente salino K, que se define como la altura en pulgadas de agua que por evaporación daría suficiente cantidad de sales para hacer un espesor de suelo perjudicial para la plantas más sensibles. Es un indice que toma en cuenta la cantidad y la calidad de las sales, así

como la permeabilidad del suelo (15, 30).

Estimación del Peligro de Sodio en las Aguas de Riego

Una vez obtenido el Ras del agua en base a las características principales anteriormente mencionadas, se procede a estimar ó predecir el posible peligro potencial de sodio el cual está sujeto a un nuevo procedimiento.

Esté procedimiento es empleado para el factor de modificación para la estimación del PSI de los RAS anteriores y que es llamado ahora RAS adj. (Relación de Absorción de Sodio Ajustado).

El RAS adj. , es calculado usando la ecuación siguiente;

$$\text{RAS adj.} = 2\text{RAS} [1.0 + (8.4 - \text{pHc})]$$

donde, RAS= Relación de Absorción de Sodio del Agua de Riego Anterior

$(8.4 - \text{pHc})$ = Índice de Saturación

pHc = Es el pHc en equilibrio, este es el pH que el agua tendría si estuviera en equilibrio con CaCO_3 .

Índice de Saturación

Bower (1965, 1968) propuso el uso del Índice de Saturación de Langelier's para estimar la precipitación de carbonatos por el agua de riego, como una función del grado de saturación de CaCO_3 en solución de los suelos. El índice es aplicado a suelos mediante la siguiente ecuación;

$$\text{I. S.} = (8.4 - \text{pHc})$$

donde 8.4 es el pH aproximado de un suelo salino pero no

sódico en equilibrio con CaCO_3 el cual es substituido por el pH del agua originalmente propuesta por Langelier's.

Está substitución refleja el alto amortiguamiento de la capacidad de los suelos calcáreos. El pHc es definido por;

$$\text{pHc} = (\text{pK}_2 - \text{pKps}) + \text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{p}(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$$

donde; $\text{p}(\text{Ca} + \text{Mg})$ es el logaritmo negativo de la concentración molar del calcio y magnesio.

$\text{p}(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$ es el logaritmo negativo de la concentración equivalente de los carbonatos y bicarbonatos.

$(\text{pK}_2 + \text{pKps})$ son los logaritmos negativos de la segunda constante de disociación de H_2CO_3 y el producto de solubilidad del CaCO_3 , respectivamente.

El pHc es calculado usando el siguiente cuadro, utilizando los valores de las concentraciones de las aguas analizadas.

Los valores de pHc arriba de 8.4 indican la tendencia a disolver el calcio del suelo a travez de cambios con el agua. Los valores por abajo de 8.4 nos indican la tendencia a precipitar el calcio por el agua aplicada.

Este procedimiento del RAS adj. es más correcto en la predicción del potencial de problemas de sodio, además de problemas de permeabilidad de los suelos ya que está relacionado al los RAS de extractos de saturación de las superficies de los suelos (5, 34, 35).

Cuadro 1. Valores utilizados para el calculo de los pHc para las aguas de riego.

Suma de Concentraciones (meq/lt)	pK ₂ - pKps	p(Ca+Mg)	p(CO ₃ + HCO ₃)
.05	2.0	4.6	4.3
.10	2.0	4.3	4.0
.15	2.0	4.1	3.8
.20	2.0	4.0	3.7
.25	2.0	3.9	3.6
.30	2.0	3.8	3.5
.40	2.0	3.7	3.4
.50	2.1	3.6	3.3
.75	2.1	3.4	3.1
1.00	2.1	3.3	3.0
1.25	2.1	3.2	2.9
1.5	2.1	3.1	2.8
2.0	2.2	3.0	2.7
2.5	2.2	2.9	2.6
3.0	2.2	2.8	2.5
4.0	2.2	2.7	2.4
5.0	2.2	2.6	2.3
6.0	2.2	2.5	2.2
8.0	2.3	2.4	2.1
10.0	2.3	2.4	2.0

Cuadro 1. Continuación.

Suma de Concentraciones (meq/lit)	pK ₂ - pK _{ps}	p(Ca+Mg)	p(CO ₃ + HCO ₃)
12.5	2.3	2.2	1.9
15.0	2.3	2.1	1.8
20.0	2.4	2.0	1.7
30.0	2.4	1.8	1.5
50.0	2.5	1.6	1.3
80.0	2.5	1.4	1.1

MATERIALES Y METODOS

UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La localización geográfica de la zona de estudio está comprendida entre las coordenadas 29° 25' y 29° 27' de latitud Norte y entre los 110° 20' y 110° 25' de longitud Oeste.

El área de interés comprende una superficie de aproximadamente 900 has, y se localiza al Noroeste de Hermosillo, Sonora, México (Fig. 1).

Se utilizarón diez fotografías de 23 por 23 cm, en blanco y negro, las cuales cubrieron la zona de interés con las siguientes líneas de vuelo:

Linea	No. de Fotografías	Zona
9	27 - 30	61-A
10	6 - 10	61-A
11	19	61-A

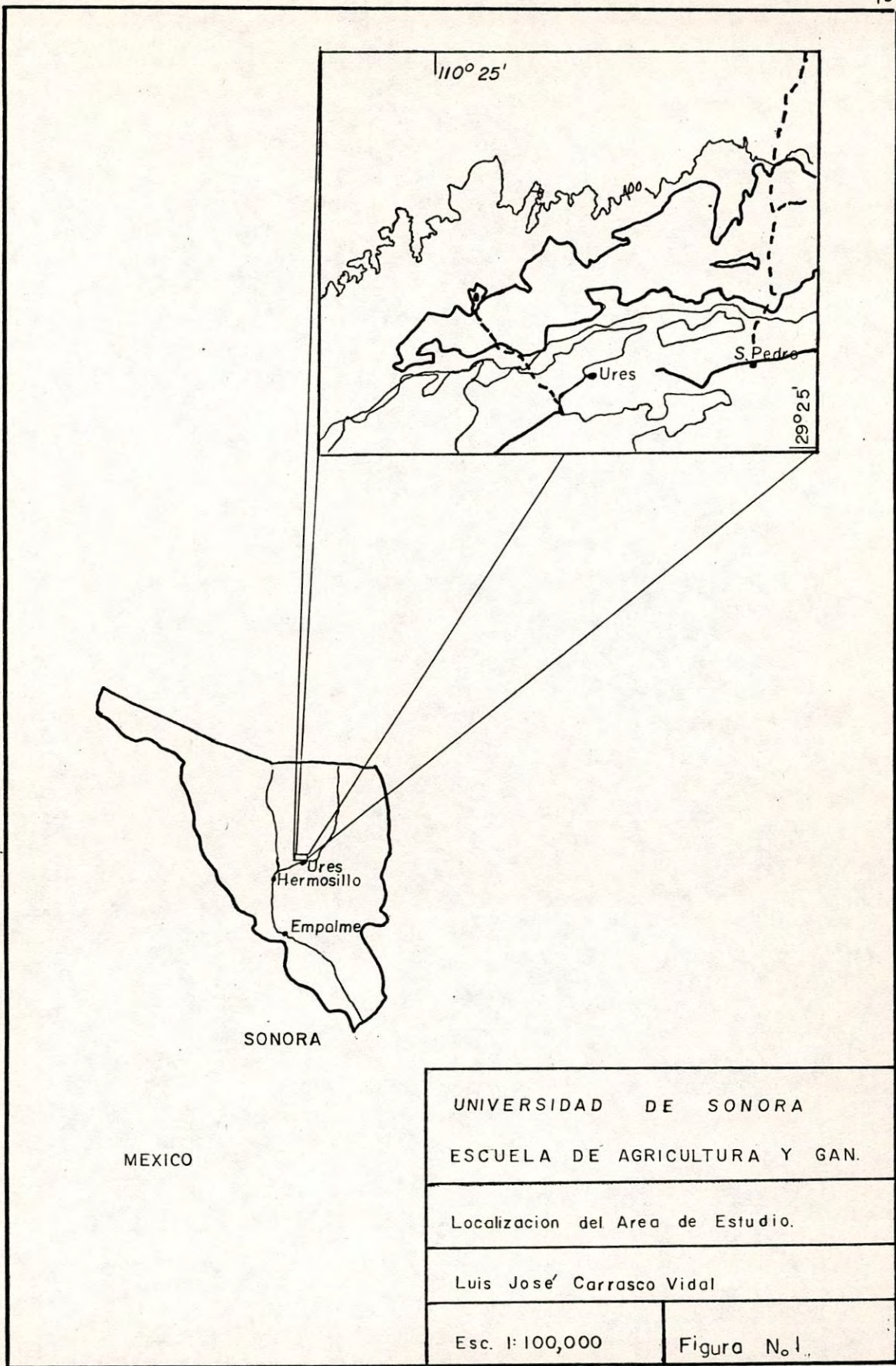
El análisis de las fotografías aéreas nos dio las características principales de la topografía, el drenaje, la naturaleza de las rocas y las estructuras geológicas.

El área está comprendida en la hoja Detenal de URES-H12D32, a escala 1:50,000 (INEGI).

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Generalidades

El análisis de la hidrología superficial se realizó con



el fin de obtener una idea más clara de las condiciones climáticas e hidrológicas que rigen en la región de estudio, y así tener un conocimiento más completo de la zona de estudio.

El área en estudio queda enclavada en la cuenca del río Sonora, la cual se encuentra dentro de la región hidrológica RH9, con una superficie de 3,757 Km² correspondiente a la subcuenca de ese río. Dentro de esta cuenca, existe una pequeña cuenca que tiene influencia directa sobre nuestra zona de estudio con un área aproximada de 297.51 Km², que corresponde al arroyo Sunibiate.

Cursos y Puntos de Aguas

Las principales corrientes que surgen en la zona son el río Sonora y el arroyo Sunibiate, los cuales presentan un escurrimiento perenne e intermitente respectivamente, arroyo, siendo además mecanismos naturales que drenan las escorrentias del lugar, aportados por los cerros cercanos que se encuentran en la parte Norte, siendo en este caso el río quien más volumen aporta. Los gastos que pasan por la región no se han determinado ya que no existen estaciones de aforo, la más cercana se encuentra aguas abajo en la estación hidrométrica el Orégano, que se encuentra muy retirada de nuestra zona de estudio; estas escorrentias tienen un volumen de escurrimiento de 101.0 millones de metros cúbicos al año.

El drenaje que influye sobre el área de interés y que es recibido de la parte Norte, proveniente de la zona

montanosa, es de tipo dendrítico, así como el que proviene de la parte Sur, que son los lugares que aportan agua por las lluvias que ocurren en la región (Plano 1).

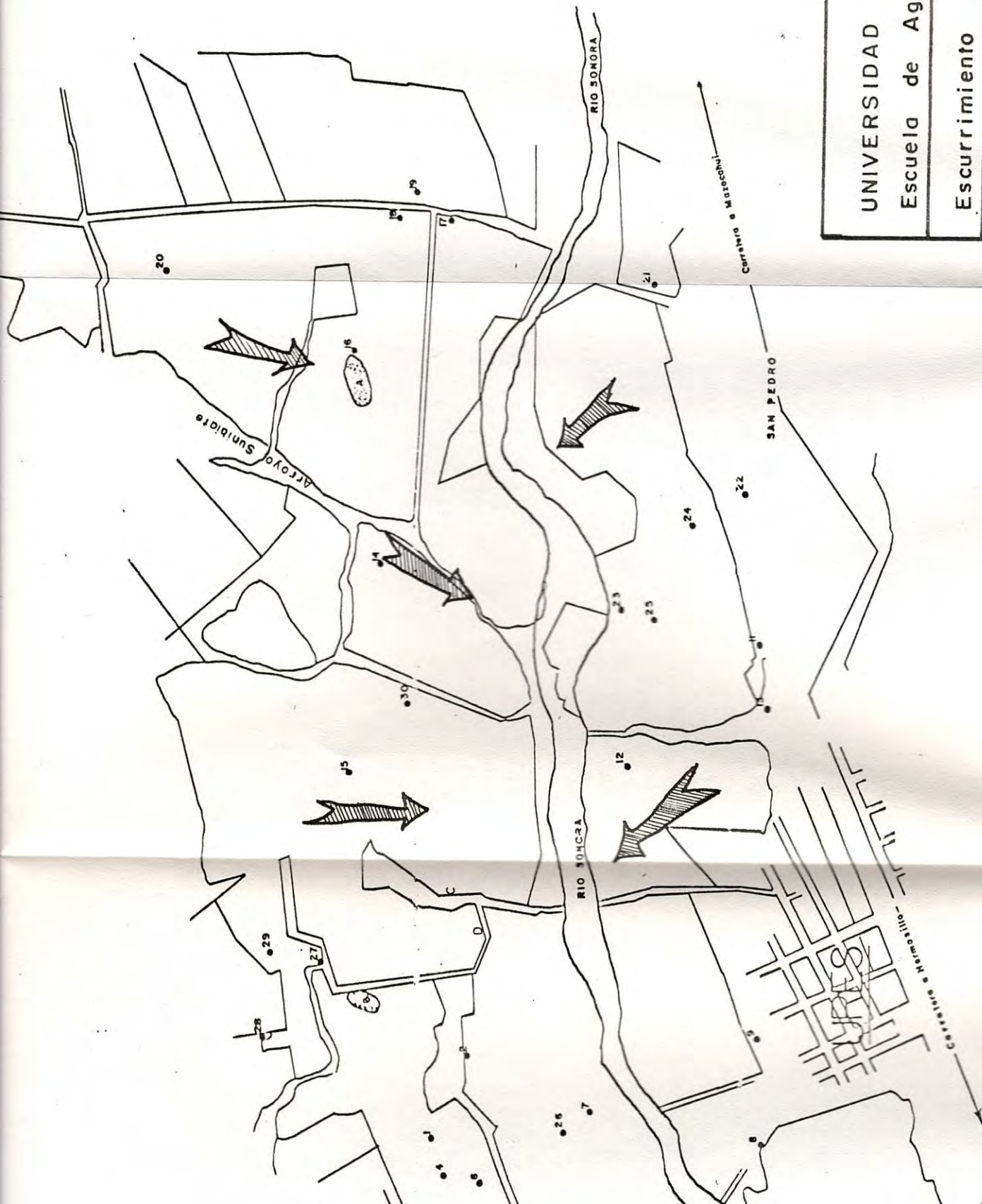
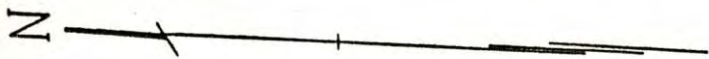
Se localizarón un cierto número de obras de acceso al acuífero del lugar, que han sido ubicados por parte de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, estas obras son norias y pozos, encontrándose un total de 18 obras dentro del área principal en estudio y 12 obras más que se les encuentran alrededor de dicha área, los cuales fueron censados para su estudio. Además dentro del área de estudio se presentan también afloramientos con niveles freáticos someros de dimensiones mas o menos grandes que fueron considerados también para su estudio.

Climatología

Las temperaturas medias anuales que oscilan en la región son entre los 20° y 30° °C, con mínimas en enero y febrero de 15 a 18 °C, que fueron registradas en la estación meteorológica de Ures, Sonora.

Las máximas se registran en los meses de junio, julio y agosto con temperaturas que varían entre los 28 y 30 °C, (Cuadro 2).

La precipitación media anual es de 430 mm (Fig. 2), con lluvias en verano y escasas a lo largo del año, siendo el periodo de lluvias en los meses de julio, agosto y septiembre, (Cuadro 3). Se tienen evaporaciones que varían entre los 60 y 329 mm totales en el mes; los meses con



UNIVERSIDAD DE SONORA
Escuela de Agricultura y Gan.

Escurrimiento Superficial

Luis Jose Carrasco Vidal

Oct. de 1987 Plano N° 1

evaporaciones mínimas en año se registrán en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, así como las máximas evaporaciones en los meses de mayo, junio y julio (Cuadro 4).

El clima de la región que rige según la clasificación del sistema de Koeppen es: BSo (h) hw (x), correspondiente a los climas secos con lluvias de verano, con un porciento de precipitación invernal mayor de 10.2, de subtipos secos muy cálidos y cálidos.

Vegetación

En cuanto a la vegetación se refiere en la región predomina como plantas nativas, los zacates Johnson (Sorghum Halapense), Bermuda (Cynodon Dactylon), así también de tipo arbustivo como la Binorama (Acacia Constricta), la Jecota (Hymenoclea Monogyra), árboles como el pino Salado (Tamarix Gallica), Mezquites (Piosopis Jolifera) y los Alamos (Populos Fremontii).

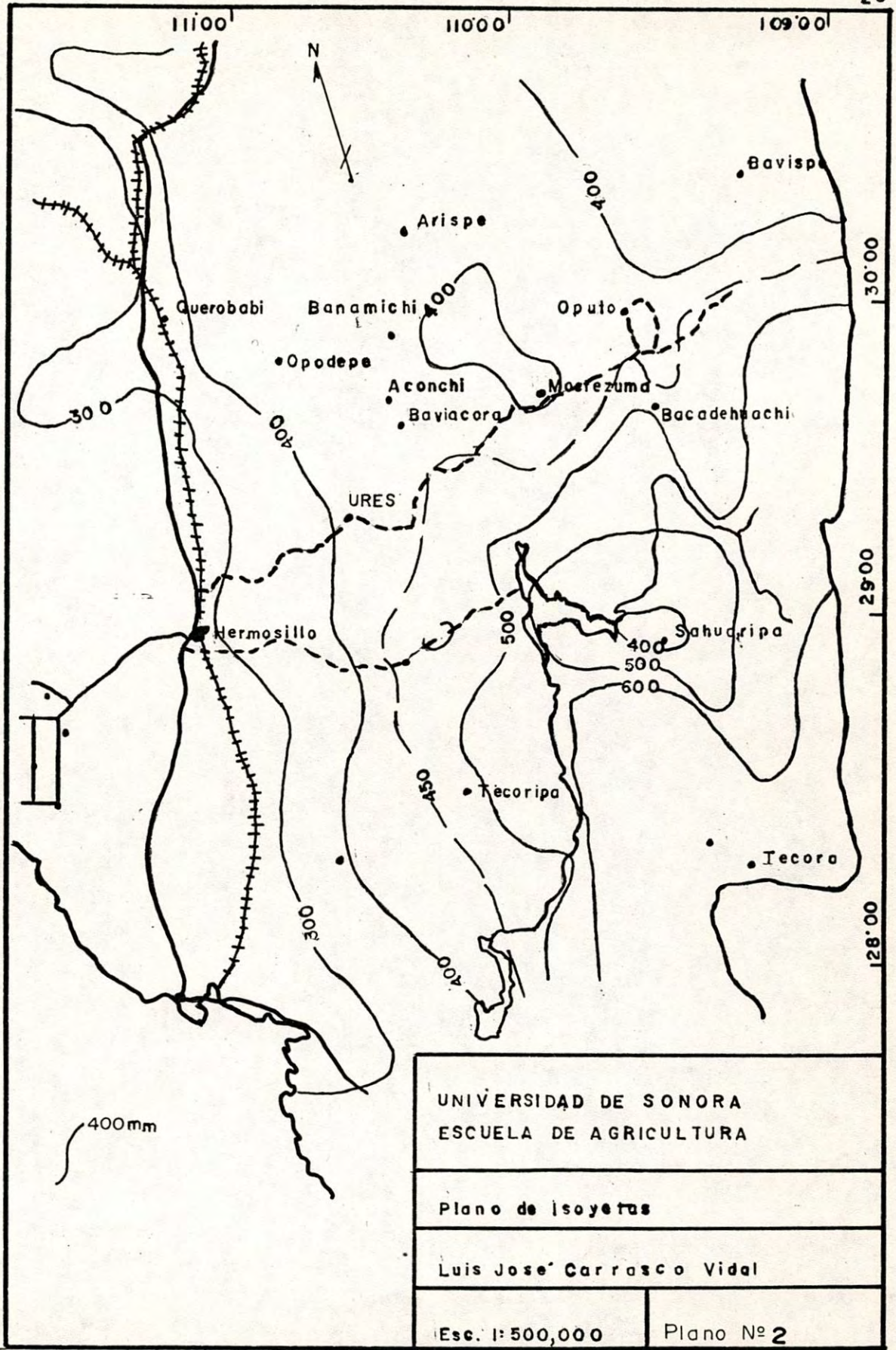
Hidrogeoquímica

Con el fin de conocer las principales características físico-químicas del agua subterránea de la zona de estudio, para con ello saber el comportamiento de las diferentes sales solubles encontradas en el agua subterránea, se llevó a cabo un muestreo de norias, pozos, ríos, arroyos y drenes, obteniendose un total de treinta y cuatro muestras de aguas.

Quadro 2. Temperaturas medias mensuales (°C), de la zona de estudio en Ures, Sonora (1975-1986)

AÑOS	TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975	15.6	16.0	18.2	19.1	23.0	28.7	30.6	32.2	29.4	23.3	19.1	15.7
1976	16.3	18.0	17.7	20.6	25.1	31.1	30.9	31.3	27.0	23.4	19.3	15.9
1977	15.2	18.1	16.4	21.8	23.4	30.2						
1978										25.5		
1979												
1980												
1981	17.0	17.4			25.3	31.9	30.3	32.2	29.9	24.5	17.5	18.3
1982	16.7	17.8	19.4	22.2	25.0	28.6	32.6	30.3	30.1	23.6	20.7	19.2
1983	17.7	21.7	17.9	18.4	23.1	25.1	29.1	29.2	29.0	23.4	19.3	16.1
1984	13.9	14.6	17.3	18.6	24.4	27.8	28.2	28.0	27.6	21.3	16.1	14.7
1985	12.8	14.4	16.9	21.5	24.8	29.4	30.9	29.3	26.2	22.0	16.8	13.7
1986	17.6	16.1	19.5	22.4	24.1	29.5	28.1	28.9	26.3	22.1	17.7	14.4
TOTAL	142.8	154.1	143.3	164.6	218.2	262.3	240.7	241.4	225.5	209.1	162.9	141.8
MEDIA	15.8	17.1	17.9	20.5	24.2	29.1	30.0	30.1	28.1	23.1	18.1	15.7

NOTA* No hay información



Quadro 3 Precipitaciones medias mensuales (mm), de la zona de estudio en Ures, Sonora (1975 1986)

PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES (mm)

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975	1.7	0.0	0.4	0.0	0.0	0.8	3.8	3.8	5.2	0.0	0.3	0.5
1976	0.0	1.3	0.0	0.4	0.0	0.4	3.4	2.7	4.1	0.2	1.0	0.1
1977	1.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0						
1978												
1979												
1980												
1981	2.6	0.3			0.0	1.2	2.0	0.2	2.1	0.0	0.0	0.1
1982	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.2	0.7	0.0	0.4	0.0
1983	0.2	0.0	1.1	0.5	0.0	0.0	7.8	5.6	6.3	0.6	0.5	1.0
1984	0.9	0.0	0.0	0.2	0.1	0.6	7.1	5.9	1.2	0.2	0.7	2.1
1985	0.7	0.7	0.0	0.3	0.0	0.4	2.2	2.5	1.2	1.3	0.7	0.1
1986	0.5	0.8	0.2	0.0	0.9	1.1	7.1	3.5	1.5	0.0	0.1	1.8
TOTAL	8.5	3.1	1.7	1.4	1.2	4.5	33.9	25.4	22.3	2.3	4.2	7.6
MEDIA	1.0	0.3	0.2	0.2	0.1	0.5	4.2	3.1	2.8	0.3	0.5	0.8

NOTA* No hay información

Cuadro 4. Evaporaciones totales mensuales (mm), de la zona de estudio en Ures, Sonora (1975-1986)

AÑOS	EVAPORACIONES TOTALES MENSUALES (mm)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975	76.8	84.2	152.7	201.6	261.3	302.9	218.9	195.2	175.6	152.3	100.3	66.2
1976	94.0	97.8	163.4	206.8	277.7	329.1	214.1	228.8	132.9	153.8	97.9	75.2
1977	61.6	125.2	163.0	219.8	274.3	159.8						
1978										82.5		
1979												
1980												
1981	64.4	54.2			215.7	270.3	124.6	154.9	143.0	115.1	57.2	85.4
1982	85.2	101.3	145.4	185.0	217.7	236.9	223.4	202.2	155.2	138.3	98.0	65.4
1983	66.5	73.6	89.8	121.5	245.8	288.7	213.5	172.6	135.0	85.1	52.1	43.2
1984			113.4	148.8	249.8	244.1	199.2	242.7	168.4	117.8	65.9	89.5
1985	69.8	47.7	118.1	187.2	219.8	277.9	240.7	177.4	163.7	90.3	71.6	67.6
1986	122.3	91.3	78.0									
TOTAL	640.6	675.3	1023.8	1270.7	1962.1	2129.7	1434.4	1373.8	1073.8	935.2	638.5	576.2
MEDIA	80.1	75.0	128.0	181.5	245.3	266.2	204.9	196.3	153.4	116.9	79.8	72.0

NOTA* No hay información

Las características físico-química del agua que se determinaron fueron las siguientes;

Sulfatos (SO_4^{2-})	Sodio (Na^+)
4	
Cloruros (Cl^-)	Potasio (K^+)
Carbonatos (CO_3^{2-})	Calcio (Ca^{++})
3	
Bicarbonatos (HCO_3^-)	Magnesio (Mg^{++})
3	
Conductividad Eléctrica (C.E.)	Sólidos Totales
Potencial de Hidrógeno (pH)	Disueltos (STD)

El procedimiento efectuado para obtener los resultados físico-químicos de las muestras fue de acuerdo al de los laboratorios de salinidad de los Estados Unidos.

Los sólidos totales disueltos fue obtenido de acuerdo al residuo seco evaporado, el cual se llevo al cabo tomando una alícuota de muestra de veinte mililitros de agua para determinarse en base a peso, el cual se obtuvo al ser evaporado a sesenta grados centígrados por veinticuatro horas. El residuo seco calcinado, se determino al calcinar a una temperatura de seiscientos grados centígrados el residuo seco evaporado (40).

Las técnicas que se utilizaron fueron los diagramas de stiff modificado, el semilogarítmico de H. Schoeller, los circulares y planos hidrogeoquímicos.

Los planos realizados en este estudio fueron los siguientes; de isoconductividad eléctrica, isoresiduos secos evaporados, isobicarbonatos, así como la relación $r\text{Mg}^{++}/r\text{Ca}$

, rSO_4^{2-}/rCl^- , $rNa^+/(rNa^+ + rCa^{++} + rMg^{++})$, donde r es igual a $\frac{4}{4}$ meq/lt, así también del escurrimiento superficial, fotoeológico y de niveles estaticos.

Planos de Residuos Secos (STD). La configuración de curvas de igual contenido de sales disueltas, nos dan una idea de el tipo de agua que existe en una región ya que está estrechamente relacionada con la resistividad. El agua subterránea es clasificada de acuerdo a los sólidos totales disueltos contenidos (Cuadro 5), (3, 10, 33).

Cuadro 5. Clasificación de acuerdo al total de sólidos disueltos (Hem, 1970).

Agua Dulce (Fresh Water)	0	a	3000 mg/lt.
Agua Salobre (Brackish Water)	3000	a	10000 mg/lt.
Agua Salada (Salty Water)	10000	a	100000 mg/lt.
Salmuera (Brine)	Mas	de	100000 mg/lt.

Planos de Isobicarbonatos, el valor normal de bicarbonatos en las aguas subterráneas queda comprendido entre 10.0 a 800.0 ppm, pero siendo las concentraciones más frecuentes entre 50.0 y 400.0 ppm, (12, 40, 43). Siendo además denominadas por la concentración del ion (Cuadro 6), (12).

Cuadro 6. Tipo de anion fundamental de acuerdo a la concentración del ion (Schoeller, 1955).

<u>Denominación</u>	<u>Valor</u> $r \frac{1}{\text{HCO}_3}$
Hiperbicarbonatada	7
Bicarbonatada Normal	2 a 7
Hipobicarbonatada	2

¹
Concentraciones en meq/lt.

Planos de Relación rMg/rCa . estas configuraciones nos permiten ver la evolución del acuífero. En las aguas subterráneas normalmente la relación rMg/rCa presentará una tendencia a aumentar en dirección del flujo, ya que las aguas están generalmente saturadas de Ca^{++} desde el principio enriqueciéndose de Mg^{++} durante sus recorridos subterráneos. La relación aumenta también en los terrenos que contienen yeso, ya que la disolución de $MgSO_4$ es más rápido que la de $CaSO_4$. Esta relación tiene variación también de acuerdo a las estructuras de los acuíferos (Cuadro 7), (41).

Cuadro 7. Valores de la relación rMg^{++}/rCa^{++} de acuerdo a las rocas de los acuíferos (Hsu, 1963)(29).

	rMg^{++}/rCa^{++}
Acuíferos Calizos	0.5 a 0.7
Acuíferos Dolomíticos	0.7 a 0.9
Acuíferos Silicatos	0.9

Planos de Relación rSO_4^{2-}/rCl^- , comunmente en los acuíferos está esta relación disminuye en el sentido del flujo, ya que la velocidad de disolución de los cloruros es más grande que la de los sulfatos alcalinotérreos, siendo esta velocidad proporcional al déficit de saturación. En cambio es rico en sulfatos y relativamente pobre en cloruros, verificandose por lo tanto lo inverso.

En el rango de salinidades normales el producto de la solubilidad de $CaSO_4$ no es alcanzado y continuamente incrementa las concentraciones de SO_4^{2-} (29).

Planos de Relación $rNa^+/(rNa^+ + rCa^{++} + rMg^{++})$. está configuración nos permite seguir el incremento de sodio relativo a la salinización, este porcentaje de sodio es un índice agrícola (Wilcox), (10).

Planos de Niveles Estáticos, la elaboración de este plano conteniendo curvas de igual profundidad al nivel estático, nos proporcionan gran información respecto al comportamiento del acuífero. La utilidad de estas curvas se

debe señalar que definen zonas donde los niveles se encuentran muy próximos a la superficie del terreno, identificándose áreas de descarga por evapotranspiración ó en caso de superficies de riego, zonas de drenaje problemáticos.

Por otra parte, el conocer la posición del nivel estático permite en ocasiones conocer la profundidades mínimas que deben alcanzar las perforaciones y las áreas donde por condiciones económicas relacionadas con la profundidad de bombeo no es recomendable perforar pozos para la satisfacción de ciertas necesidades (24).

CLASIFICACION DE AGUAS

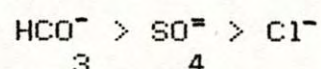
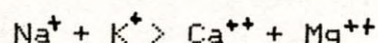
Las aguas subterráneas se clasifican a fin de informar su composición química, dichas clasificaciones solo dan información global y en general se establecen con vistas a su uso agrícola ó domestico.

Las clasificaciones que se usarón para este estudio fuerón; por los iones dominantes y por su contenido anionico y salinidad, por la relación de absorción de sodio (RAS) ó clasificación de Wilcox.

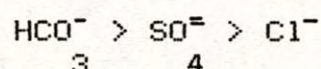
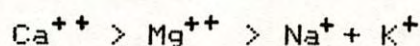
La clasificación por iones dominantes, se nombra al agua por el anión ó catión que sobre pasa el 50% de sus sumás respectivas, si ninguno supera el 50% se nombran los dos más abundantes. Si conviene se puede anadir en nombre de algún ion menor, de interés que esté en concentración anormalmente alta. Está clasificación se apoya en el diagrama

triangular de Piper-Hill-Langelier. La dominancia química de los iones en el agua natural son Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- . Los siguientes iones son los mayores componentes de algunos grupos comunes de las rocas (40);

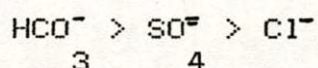
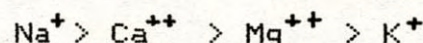
1.- El agua en contacto con rocas graníticas



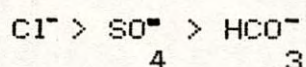
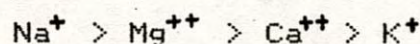
2.- Agua de rocas carbonatadas (Dolomita y Piedras Calizas)



3.- Agua de acuíferos basálticos



4.- Agua marina



La clasificación de Wilcox, se caracteriza por ser muy común en aguas destinadas al riego agrícola, está se basa en las siguientes características;

1.- La concentración total de sales solubles expresadas mediante la conductividad eléctrica en micromhos por centimetro a 25 C.

2.- La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada como RAS, es la siguiente;

$$\text{RAS} = \frac{r\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{r\text{Ca}^{++} + r\text{Mg}^{++}}{2}}} \quad ; \quad r = \text{meq/lt.}$$

A las aguas de un RAS constante se le atribuye un mayor peligro de alcalinización del suelo cuanto mayor es la concentración total (36). A continuación se detallará brevemente las características principales del agua;

Conductividad (C)

(C1) Aguas de baja salinidad, puede usarse para riego en la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero este se logra en condiciones normales de riego excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

(C2) Aguas de salinidad media, puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

(C3) Aguas altamente salina, no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. A un con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de salinidad, debiendo por lo tanto seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

(C4) Aguas muy altamente salina, no es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse

ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben de ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado, en este caso deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales.

Sodio (S)

(S1) Aguas bajas en sodio, puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante los cultivos sensibles como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

(S2) Aguas medias en sodio, en suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, más aun si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contenga yeso.

Estás aguas solo pueden usarse en suelos de textura gruesa ó en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

(S3) Aguas altas en sodio, puede producir tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que éstas necesitarán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riegan con este tipo de aguas. Pueden requerirse el uso de mejoradores químicos para substituir el sodio intercambiable, sin embargo, tales

mejoradores no serán económicos si se usán aguas de muy alta salinidad.

(S4) Aguas muy altas en sodio, es inadecuada para riego, excepto cuando su salinidad es baja ó media y cuando la disolución del calcio del suelo y la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómico el empleo de está clase de aguas (36).

RESULTADOS

GEOLOGIA REGIONAL

Información General

El objetivo de este estudio es de obtener una idea sobre la permeabilidad de las formaciones que existan en el área de estudio y determinar si algunas de estas constituyen zonas de recarga de posibles acuíferos en la zona.

El trabajo se realizó recopilando información geológica existente de la región y verificando en el campo, complementando además la información obtenida con la ayuda de las cartas geológicas que nos dan una idea de las formaciones existentes en la zona. Se obtuvo de ésta manera la geología de la región.

Fisiografía

El valle de Ures corresponde a la cuenca del río Sonora, presenta una forma parecida a la de un gra triángulo muy irregular, encierra una extensión superficial de unos 900² Km . Está cruzado diagonalmente por el río Sonora que lo recorre con una dirección general de NE a SW y con una pendiente de cerca de 3 al millar, el río entra al valle por el NE, salvando las barreras graníticas que lo limitan por este rumbo, por un estrecho paso conocido con el nombre de cañon de la Puerta del Sol y sale por el SW hacia el valle de San Francisco.

Hidrografia

El río Sonora tiene un curso aproximadamente de 380 Km, contados desde su nacimiento en el manantial conocido con el nombre de ojo de agua de Arvayo, en los alrededores del mineral de Cananea, hasta su pérdida en los arenales de la costa de Hermosillo.

En un tramo de cerca de 170 Km, comprendido desde su origen hasta cañada ancha corre este río con una dirección casi de Norte a Sur, la que en este último paraje cambia hacia el SW hasta su fin. En el tramo donde comienza a cambiar de dirección al SW recibe afluentes en el valle de Ures. al río Sunibiate, por el Norte los arroyos de San Joaquín, cañada Colorada, y noria de Bórquez por el Sur, así como numerosos arroyos pequeños con régimen intermitente que disectan la planicie de ese valle. Las aguas contenidas en el río Sonora son las que en parte se utilizaran para la irrigación de las tierras del valle de Ures.

Otro aspecto también notable en los grandes ríos de Sonora es la intensa erosión que ellos y sus afluentes, tanto de régimen permanente como de régimen torrencial han efectuado en el territorio del estado. Esta acción erosiva además de influir en el relieve topográfico, tienen la tendencia del agua a no concentrarse, si no a extenderse en láminas delgadas en superficies mas ó menos grandes y en los valles como el de Ures se nota más bien un trabajo combinado de erosión y deposito.

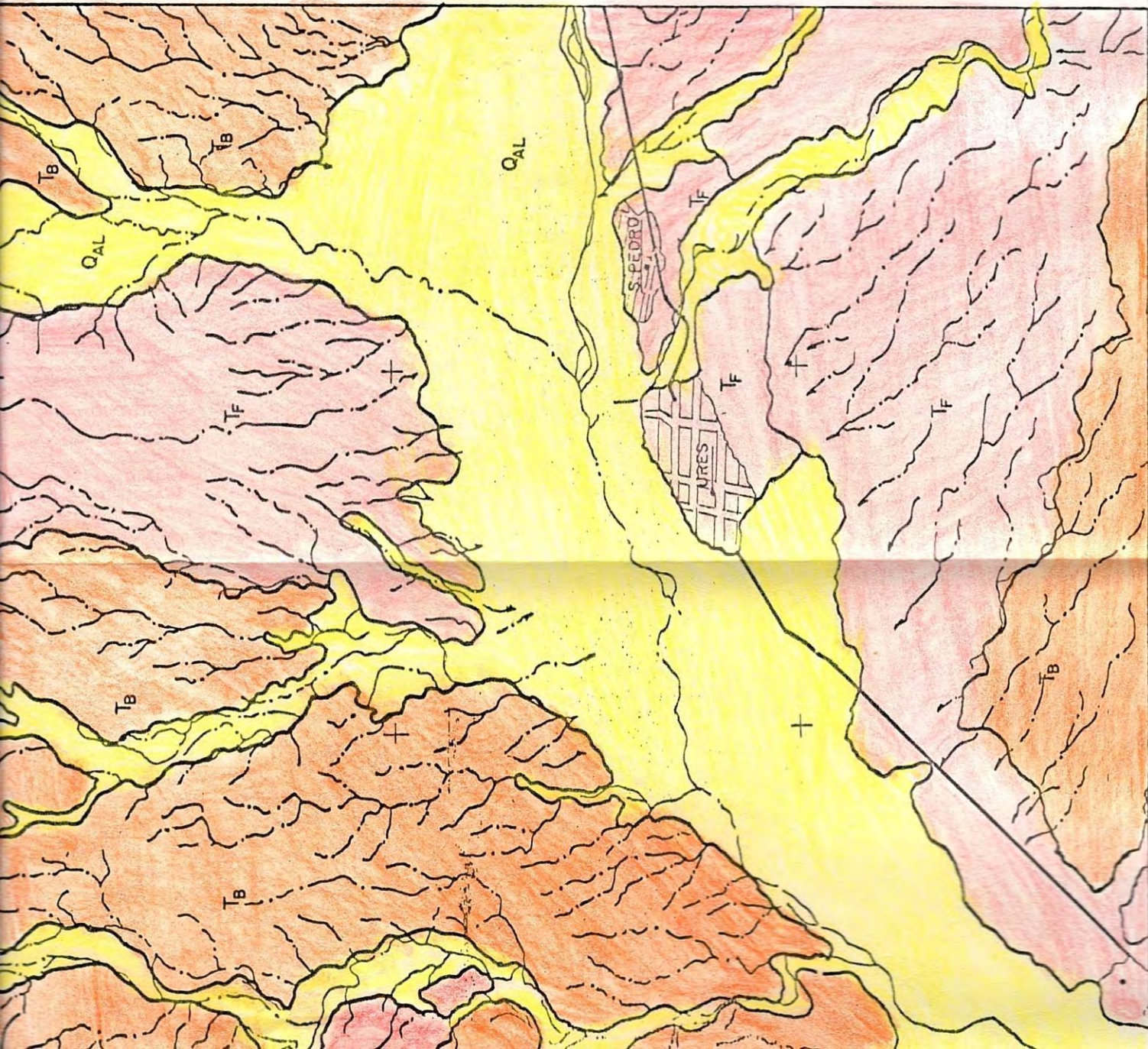
ROCAS SEDIMENTARIAS

En la región de estudio y sus inmediaciones afloran diferentes litologías que corresponden al grupo genético de las rocas sedimentarias estando representados por ; areniscas, conglomerados y depósitos no consolidados de gravas, arenas, limos y arcillas (Depósitos de Acarreo).

Desde el punto de vista estratigráfico la unidad litológica más representativa en el área de estudio es la llamada Formación Baucarit (ver plano fotogeológico), constituida principalmente por fragmentos de rocas graníticas y volcánicas empacadas en una matriz areno-limo-arcillosa.

Los fragmentos varían de subredondeados a angulosos y la estratificación está pobremente definida. Topográficamente esta unidad se caracteriza por formar una serie de lomeríos suaves con un patrón de drenaje dendrítico.

Finalmente, cubriendo en discordancia a las unidades mencionadas tenemos los depósitos no consolidados representados por gravas, arenas, limos y arcillas producto del acarreo de arroyos y ríos. Estos depósitos corresponden al Cuaternario, el tipo de litologías descrito corresponde en el estado de Sonora a relleno de valles intermontanos de origen tectónico, limitados hacia el E-W por fallas normales orientadas en dirección NNW-SSE y son desde el punto de vista hidrogeológico los lugares más aptos para la búsqueda de acuíferos.



LEYENDA

- Cuaternario Aluvion
- Terciario, Terrazas Fluviales
- Terciario, Formacion Baucarit
- Terciario, Rocas Volcanicas

SIMBOLOGIA

- Contacto Geologico
- Arroyo
- Rio
- Carretera
- Poblado

UNIVERSIDAD DE SONORA
Escuela de Agricultura y G

Plano Fotogeologico

Luis Jose Carrasco Vidal

Esc. 1:62,500

Plano N° 3

Las rocas que se describen a continuación no se muestran en el plano fotogeológico dado que no afloran en el área de interés si no en las inmediaciones de esta pero, debido al patrón de drenaje predominante es importante considerarlos dado que, algunas de estas forman barreras naturales del valle de Ures y son fuente potencial de elementos tales como Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} .

ROCAS IGNEAS (Plutónicas e Intrusivas)

Granito

Roca ígnea intrusiva, caracterizada por su textura francrítica y cuyos minerales esenciales son el cuarzo, el feldespato potásico y plagioclasa sodica. Los accesorios frecuentes son ferromagnesianos.

En el valle de Ures está roca forma la frontera Norte, Este y Noreste, se considera como la prolongación hacia el Sur del llamado Batolito de Aconchi. En algunos lugares dicho granito presenta las características de un Gneis.

Sienitas y Monzonitas

Las sienitas y monzonitas forman la sierra San Cosme-San Damián, está sierra que pertenece al valle de Ures, corre con una dirección casi normal a la del río Sonora es decir de NW a SE y forma una zona de rocas intrusivas alargadas de cerca de 15 Km de longitud por una anchura muy variable que llega a ser en algunos lugares de 2 a 2.5 Km y en otros se reduce

mucho aún desaparece completamente, por estar allí cubierta por formaciones volcánicas o por terrenos de acarreo.

La intrusión de las rocas sienítico-monzoníticas de la sierra San Cosme-San Damián parece haberse efectuado a través de los granitos que constituyen la formación fundamental del valle de Ures, esta zona intrusiva es notable por su carácter en ciertos modos batolítico y por estar acompañadas de una faja de rocas efusivas modernas (andesitas y riolitas en su mayor parte), esta faja está orientada de NW a SE.

ROCAS IGNEAS (Efusivas)

Andesitas y Traquitas

Las andesitas son de anfibola ó piroxena, han sufrido alteraciones más o menos profundas por lo que han sido transformadas, en andesitas verdes propiliticas y andesitas silicificadas ó carbonatadas. Existen andesitas de hornblenda al NW de Ures proveniente del arroyo del Carrizo. Estas andesitas en cuya masa de un color gris se destacan abundantes cristales negros de hornblenda, forman macizos ó corrientes de alguna importancia. Al microscopio polarizador observados en láminas delgadas, ofrecen una estructura porfirítica con pasta microlítica, siendo los elementos constituyentes esenciales, una andesina cálcica hornblenda basáltica y augita, los secundarios óxidos de fierro y arcillas.

Andesitas verdes con pirita en su masa y andesita más o menos alterados, carbonatadas ó silicificadas se presentan cerca del borde NW del valle de Ures. Entre las rocas efusivas que figuran tenemos las andesitas, traquitas y riolitas que se observan como una sucesión gradual de tipos de transición, en los contrafuertes de la sierra San Cosme-San Damián, cercanos a la noria de Romo. Las traquitas procedentes de la sierra son de color chocolate, de masa afanítica con cristales de feldespato y en el microscopio se distinguen como elementos constituyentes principales los feldespatos ortoclasa y albita.

Riolitas

En el valle de Ures se presentan también riolitas de textura fluidal, cerca de la noria de Bórquez, donde forman el cerrito del mismo nombre que está separado del macizo principal de la sierra por el arroyo de San Pedro.

En las laderas de la sierra San Cosme-San Damián en el valle de Ures existen riolitas que no tienen fisonomía riolítica franca y solamente al microscopio se pueden distinguir de las andesitas y traquitas mencionadas. Estas riolitas son de color café oscuro, de textura compacta y de pasta afanítica en medio de lo que se distinguen a la lente pequeños cristales de cuarzo y feldespato. Al microscopio muestran una textura porfirítica con una masa micro-granular, los fenocristales de los constituyentes

esenciales son; ortoclasa, cuarzo, oligoclasa sodica y biotita, accesorios; magnetita, secundarios; clarita, sericitas y óxidos de fierro. La masa ó pasta de la roca está constituida por un agregado muy fino que al microscopio se resuelve en una mezcla de ortoclasa y cuarzo.

ROCAS METAMORFICAS

Entre las rocas metamórficas presentes señalaremos a las cuarcitas son muy compactas de lustre vítreo graso, de textura macroscópica, de color generalmente gris rojizo y se encuentran localizados en las zonas de contacto de rocas intrusivas con rocas ígneas, como por ejemplo en la mina los cochis en el valle de Ures.

Granitas

Al NW del valle de Ureas se observan zonas de intenso metamorfismo ígneo y son en ellas comunes las rocas de granate (granatitas) ó de epidota. Ambas rocas cerca de las cuales se encuentran criaderos plumbíferos ó cupríferos de contacto, son el resultado del metamorfismo de las calizas por cuya acción se han transformado los elementos de estas rocas sedimentarias en silicatos de cal, magnesio y fierro, fenómenos que se manifiestan casi siempre acompañados de una energética recristalización de aquellas rocas sedimentarias.

Censo de Aprovechamientos

En la zona de estudio se encuentra un cierto número de captaciones de agua subterránea, siendo en mayor proporción norias, algunas de ellas con gastos de extracción importante, se encontraron solo 2 pozos perforados.

En el trabajo de campo se realizaron el censo de aprovechamientos y muestreandose un total de 30 obras de captación.

Las norias en la zona de estudio se encuentran ademadas con concreto, siendo un número pequeño de ellas las que están sin ademar por estar construidas a poca profundidad y de explotación manual, para uso de abrevaderos.

Existen norias con gastos grandes de agua que varían de 90 a 160 litros por segundo (Cuadro 8).

Estas captaciones tienen diferentes dimensiones en su construcción, son de de sección circular que varían de 1 a 2 metros, con profundidades totales entre los 1.20 y 14.75 metros, su construcción según información obtenida de los propietarios fueron hechas a mano, encontrandose que el espejo del agua está a poca profundidad.

Los pozos fueron construidos con maquinas de perforación y según la información proporcionada, estos no funcionan con eficiencia, como las norias. El diametro de estas 2 obras es de 40.64 cm (16 pug.), pero con respecto a su profundidad no nos fue posible medirla debido a la forma cerrada en su parte superior de la obra. Un caso especial de

MUESTRA No.	CENSO	TIPO	PROFUNDIDAD metros	N. E. metros	N. D. metros	DIAMETRO ADIEN (m)	TIPO DE MOTOR	TIPO DE BOMBA	p.H.	C. E. micromhos	CAUDAL L.P.S.	USO	DESCARGA β	OBSERVACIONES
1	SARH 1042	NORIA NORIA	12.16	2.57	6.70	2.00	ELECT.	TURBINA	7.4	857.7	39	AGRICOLA	8"	
2	1043	NORIA	11.50	2.00	4.80	1.80	ELECT.	TURBINA	7.4	590.8	40	AGRICOLA	8"	
3	1051	NORIA	11.58	3.29	4.10	2.00	ELECT.	TURBINA	7.2	876.7	40	A. POTABLE	3"	
4	1051 1	NORIA	11.20	2.25		2.00			6.9	771.9		AGRICOLA		
5	1052	POZO		2.00			ELECT.	TURBINA	7.3	648.0		AGRICOLA	6"	SIN OPERAR
6	1053	POZO		2.15			ELECT.	TURBINA	7.4	371.0		AGRICOLA	8"	
7	1053 1	NORIA	8.20	1.40		1.80	ELECT.	TURBINA	7.1	748.1		AGRICOLA	8"	
8	1056	NORIA	12.00	2.10	8.70	1.80	ELECT.	TURBINA	7.1	686.1	115	AGRICOLA	10"	
9	1057	NORIA	10.00	2.00	4.81	2.00	ELECT.	TURBINA	7.2	705.2	110	AGRICOLA	10"	
10	1061	NORIA	13.00	1.20	4.80	1.80	ELECT.	TURBINA	7.7	686.1	100	AGRICOLA	10"	
11	1065	NORIA	14.75	3.44	6.00	2.00	ELECT.	TURBINA	7.3	676.6	159	AGRICOLA	10"	
12	1065 1	NORIA	11.20	2.70	4.70	2.00	ELECT.	TURBINA	7.2	657.5		AGRICOLA	10"	
13	1065 3	NORIA	9.50	2.83	5.07	1.80	ELECT.	TURBINA	7.2	705.1		AGRICOLA	10"	
14	1068	NORIA		2.05		1.80			7.4	933.9		AGRICOLA	3"	SIN USO
15	1073	NORIA	10.00	1.90		1.80	ELECT.	TURBINA	6.9	695.6		AGRICOLA	10"	SIN USO
16	1075	NORIA	9.75	0.80	2.70	2.00	ELECT.	TURBINA	7.1	762.4		AGRICOLA	10"	
17	1076	NORIA	8.30	1.60	4.20	1.40	ELECT.	TURBINA	7.3	667.1	96	AGRICOLA	8"	
18	1077	NORIA	12.00	2.00	2.50	1.90	ELECT.	TURBINA	7.4	648.0	40	ABREVADERO	6"	
19	1077 1	NORIA	5.50	1.50		1.00	ELECT.	CENT.	7.2	938.0		ABREVADERO	2"	
20	1077 2	NORIA	13.35	6.10		1.70	ELECT.	TURBINA	6.9	867.2		AGRICOLA	10"	
21	1083	NORIA	10.95	2.70	4.30	1.80	ELECT.	TURBINA	7.5	557.5		A. POTABLE		
22	1085	NORIA	14.26		4.60	1.80	ELECT.	CENT.	7.1	609.1		AGRICOLA	6"	
23	1087	NORIA	7.50	1.90		1.80	ELECT.	CENT.	7.2	638.5		AGRICOLA	1"	
24	1087 1	NORIA	14.00	9.20	7.50	2.00	ELECT.	CENT.	7.1	724.2	29	DOMESTICO	6"	
25	1087 2	NORIA	8.70	2.20			ELECT.	TURBINA	6.9	705.1		AGRICOLA	6"	
26	S. N.	NORIA	9.00	1.65	6.00	1.80	ELECT.	TURBINA	7.2	800.0	40	AGRICOLA	6"	
27	60	NORIA	1.20	0.80		1.00			7.5	3621.4		ABREVADERO		SIN ADEMAR
28	2	NORIA	5.10	1.30		1.00			7.5	2525.4		ABREVADERO		SIN ADEMAR
29	3	NORIA	3.00	2.20		1.00			7.3	1115.0		ABREVADERO		
30	7	NORIA	5.10	1.47		1.20			7.3	972.8		ABREVADERO		
31	R. S.	NORIA												RIO SONORA

N.E. = NIVEL ESTADICO

N.D. = NIVEL DINAMICO

ELECT. = ELECTRICO

P.H. = EN LABORATORIO

L.P.S. = LITROS POR SEG

C.E. = CONDUCTIVIDAD

ELECTRICA

C.I. = CONNECTION

aprovechamiento lo constituye el río, situado en el área de estudio, cuyo caudal es aprovechado para su uso agrícola en el riego.

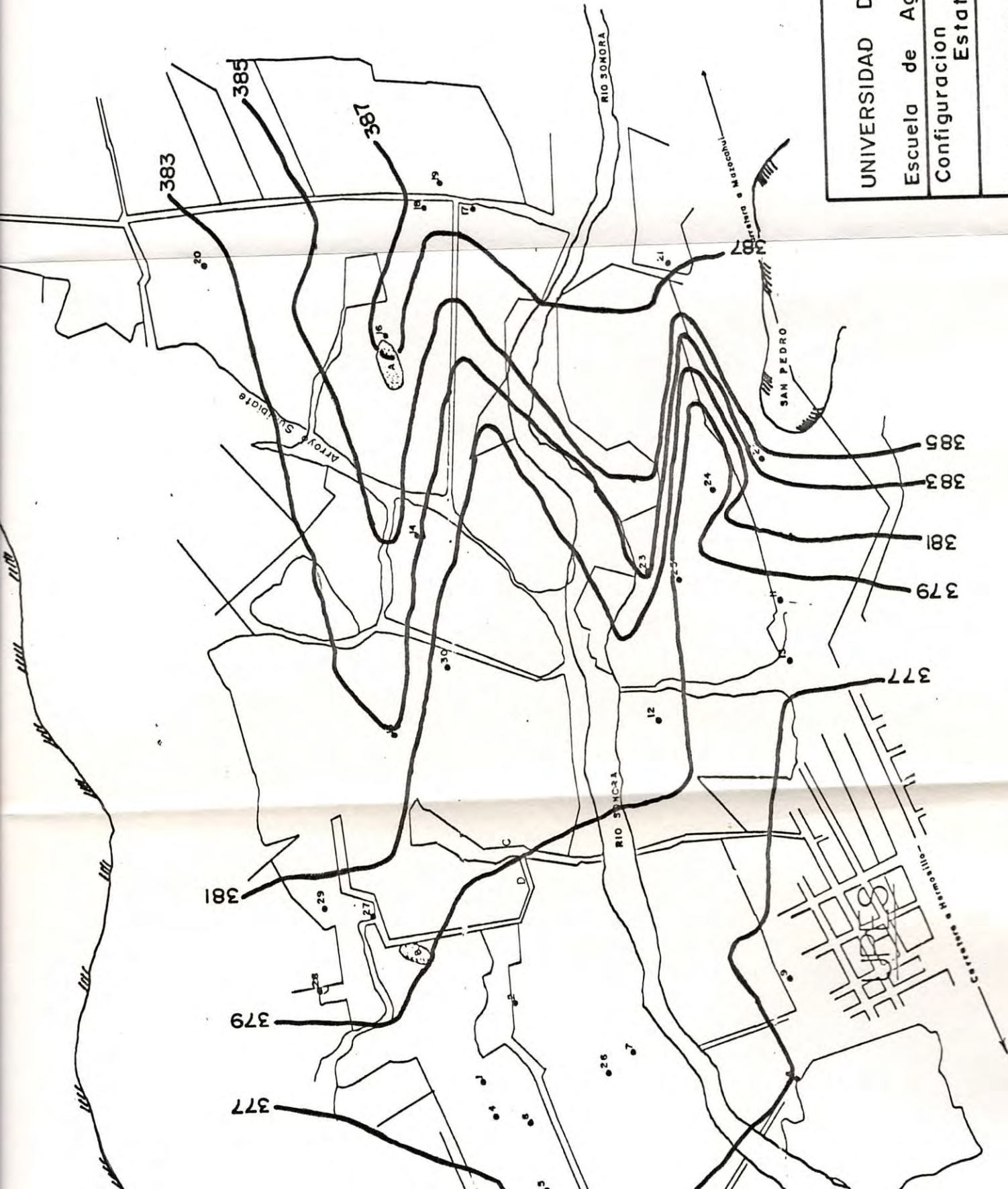
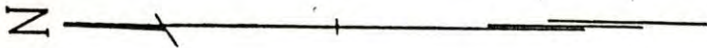
Direcciones del Flujo Subterráneo

Se midieron las profundidades del nivel estático con las cuales se configuraron las curvas de igual nivel y se puede observar que la tendencia de la dirección del flujo subterráneo, es de NE a SW siguiendo el curso del río Sonora (Plano 4).

De acuerdo con la configuración de los niveles estáticos se nota que el río tiene una influencia principal en la recarga del acuífero, así como también la aportación del arroyo Sunibiate, proveniente del NE de la región. Recibe también aportaciones de los escurrimientos de los cerros cercanos al lugar, conocido como lomas coloradas, provenientes del Norte de la zona. Existe una marcada diferencia de profundidades en el nivel estático medido en las norias del margen izquierdo del río cercanos al poblado de San Pedro debido entre otras cosas a la topografía de la región, presentándose mecanismos naturales de descarga por evaporaciones en áreas con niveles freáticos someros (Afloramientos A y B).

Condiciones a los Límites

El área del acuífero en estudio, se encuentra limitado en sus condiciones como acuífero por barreras naturales, al Norte de la zona por los cerros conocidos como Lomas



UNIVERSIDAD DE SONORA

Escuela de Agricultura y Gan.

Configuracion de Niveles
Estaticos

Luis Jose Carrasco Vidal.

Oct. de 1987

Plano N° 4.

Coloradas que de acuerdo a la geología son terrazas fluviales, al Noroeste por la formación Baucarit, y al Sur también por terrazas fluviales, mismas donde se encuentra la ciudad de Ures y San Pedro.

Hidrogeoquímica

En base a los resultados obtenidos en los análisis físico-químico y con la información geológica recabada de las fotografías aéreas, se procedió a efectuar la interpretación hidrogeoquímica correspondiente, utilizando para ello las técnicas de estudio antes mencionadas.

Estos resultados podemos observarlos en el Cuadro 9, los cuales nos muestran que estas agua tienen un pH que varia entre 6.9 a 7.9.

Se encontró que la conductividad eléctrica de estas aguas variaban entre los 370 y 3600 micromhos/cm.

En el plano 5, correspondiente a conductividades eléctricas nos muestra que el incremento de los valores en las curvas es en dirección SE-NW, así como hacia la parte N del área reafirmando con esto que el río es la principal recarga del acuífero. Este aumento en la conductividad es mayor cuanto más se acerca a los cerros en su parte Norte. En lo que corresponde al margen izquierdo del río Sonora, sus valores fueron menores que 750 micromhos/cm, pero mayores que 500 micromhos/cm.

Cuadro 9. Resultados de los análisis químicos de las muestras de aguas recolectadas en la zona de estudio en Ures, Sonora (en meq/lit).

Muestra	pH	C.E	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
1	7.4	857.7	6.90	0.80	0.74	4.70	2.20	1.30	0.16
2	7.4	590.8	3.90	0.50	1.03	2.80	2.30	0.86	0.15
3	7.2	876.7	6.50	1.00	1.34	6.00	1.30	1.30	0.18
4	6.9	771.9	6.50	0.90	0.65	5.10	1.90	0.43	0.14
5	7.3	648.0	5.50	0.60	0.53	3.60	1.80	0.86	0.14
6	7.4	371.0	3.90	0.50	0.17	1.90	0.60	0.86	0.16
7	7.1	748.1	6.00	0.70	0.67	4.10	2.40	1.30	0.16
8	7.1	686.1	4.50	0.60	1.14	3.70	2.80	0.86	0.18
9	7.2	705.2	4.90	0.70	1.18	4.80	1.90	0.86	0.25
10	7.7	686.1	5.50	0.80	0.64	3.70	2.40	0.86	0.17
11	7.3	676.6	4.40	0.60	1.30	4.20	1.90	0.65	0.15
12	7.2	657.5	4.50	0.80	0.93	4.40	2.00	0.86	0.17
13	7.2	705.1	4.20	1.00	1.12	4.20	2.20	0.86	0.20
14	7.4	933.9	7.40	1.10	1.22	4.90	2.90	2.17	0.21
15	6.9	695.6	5.20	1.00	0.66	3.30	2.40	2.17	0.08
16	7.1	762.4	5.50	0.80	1.16	3.70	2.70	2.17	0.16
17	7.3	667.1	4.30	0.50	1.22	3.60	1.30	0.86	0.19
18	7.4	648.0	4.50	0.80	1.12	3.20	2.70	1.08	0.21
19	7.2	938.0	6.10	1.20	1.42	4.30	3.20	1.73	2.75
20	6.9	867.2	6.60	1.70	0.64	4.20	3.90	1.30	0.15
21	7.5	557.5	3.70	0.50	1.15	5.00	0.20	0.86	0.21
22	7.1	609.1	4.10	0.80	0.79	2.90	2.60	0.86	0.19

Cuadro 9. Continuación

Muestra	pH	C.E	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
23	7.2	638.5	4.50	0.70	0.95	3.60	2.30	1.30	0.16
24	7.1	724.2	4.30	1.00	1.11	4.40	2.00	0.86	0.24
25	6.9	705.1	4.30	0.90	1.08	3.20	3.20	1.73	0.23
26	7.2	800.0	5.80	0.60	1.33	5.10	1.80	0.43	0.16
27	7.5	3621.4	14.60	5.10	7.44	7.40	3.80	13.04	0.29
28	7.5	2525.4	11.00	5.00	5.24	2.90	4.40	19.13	1.02
29	7.3	1115.0	9.00	1.70	0.69	2.40	2.20	1.73	0.15
30	7.3	972.8	7.00	1.00	3.93	4.20	3.30	2.07	0.23
31	7.2	701.5	4.00	0.70	1.79	5.30	0.60	0.86	0.09
A	7.3	700.4	5.30	0.90	1.15	2.90	3.60	1.30	0.10
B	6.2	15724.5	74.00	31.00	7.16	0.90	5.50	4.34	8.26
C	7.6	705.1	5.60	0.80	0.65	3.50	2.50	2.17	0.10
D	7.1	719.5	5.60	0.90	0.62	2.70	3.00	1.30	0.10

SIMBOLOGIA

A y B Afloramientos

C y D Drenes

Un aspecto importante al realizar los análisis químicos fue que no se encontró la presencia de CO₃ en las aguas, a excepción de la muestra recolectada en el río, con una concentración de 0.4 meq/lt.

De acuerdo con el diagrama de H. Schoeller, estas aguas están representadas en líneas quebradas sobre las rectas correspondientes a cada elemento en dicho diagrama (Fig. 2), dominando principalmente el anión bicarbonato (HCO₃), al

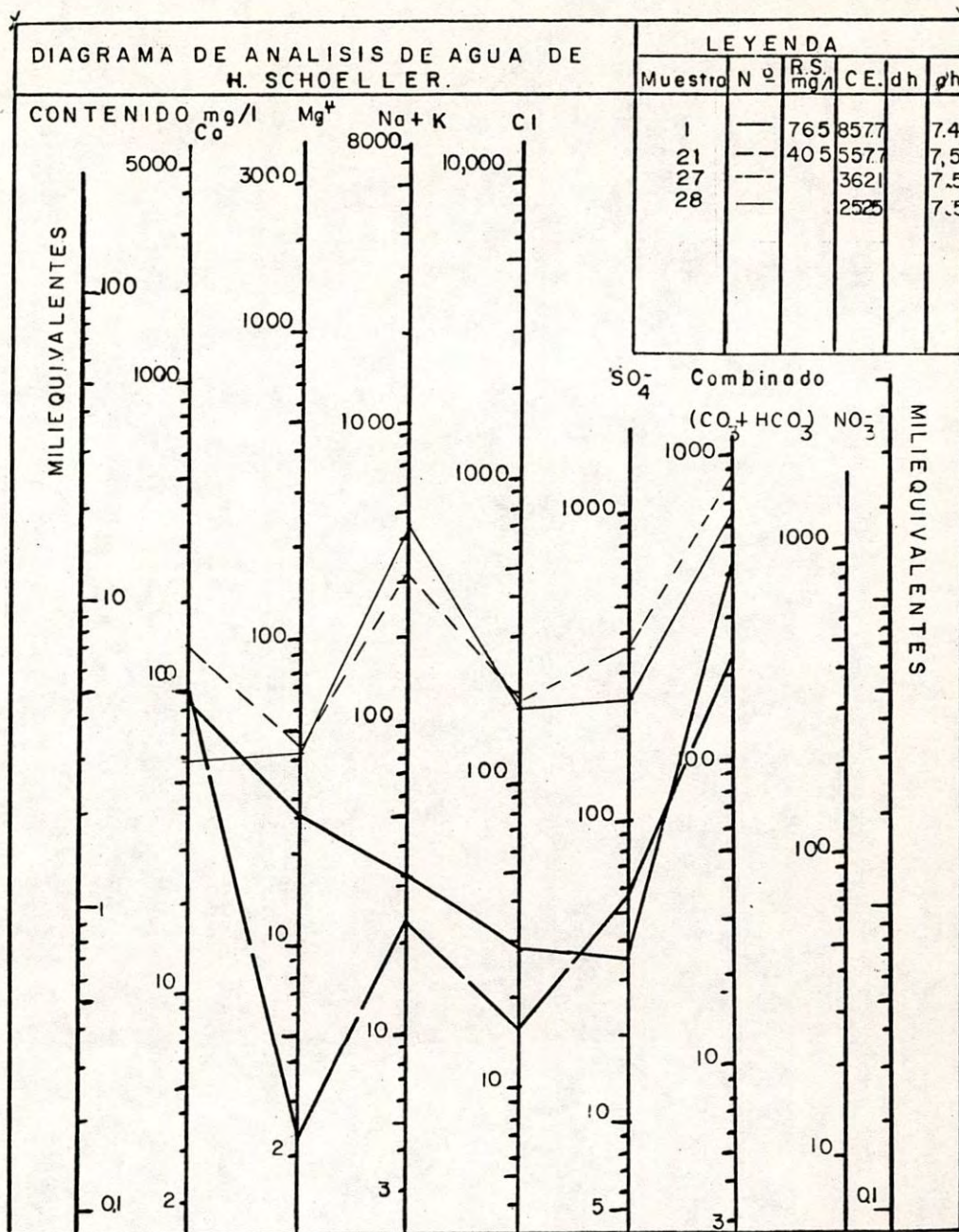


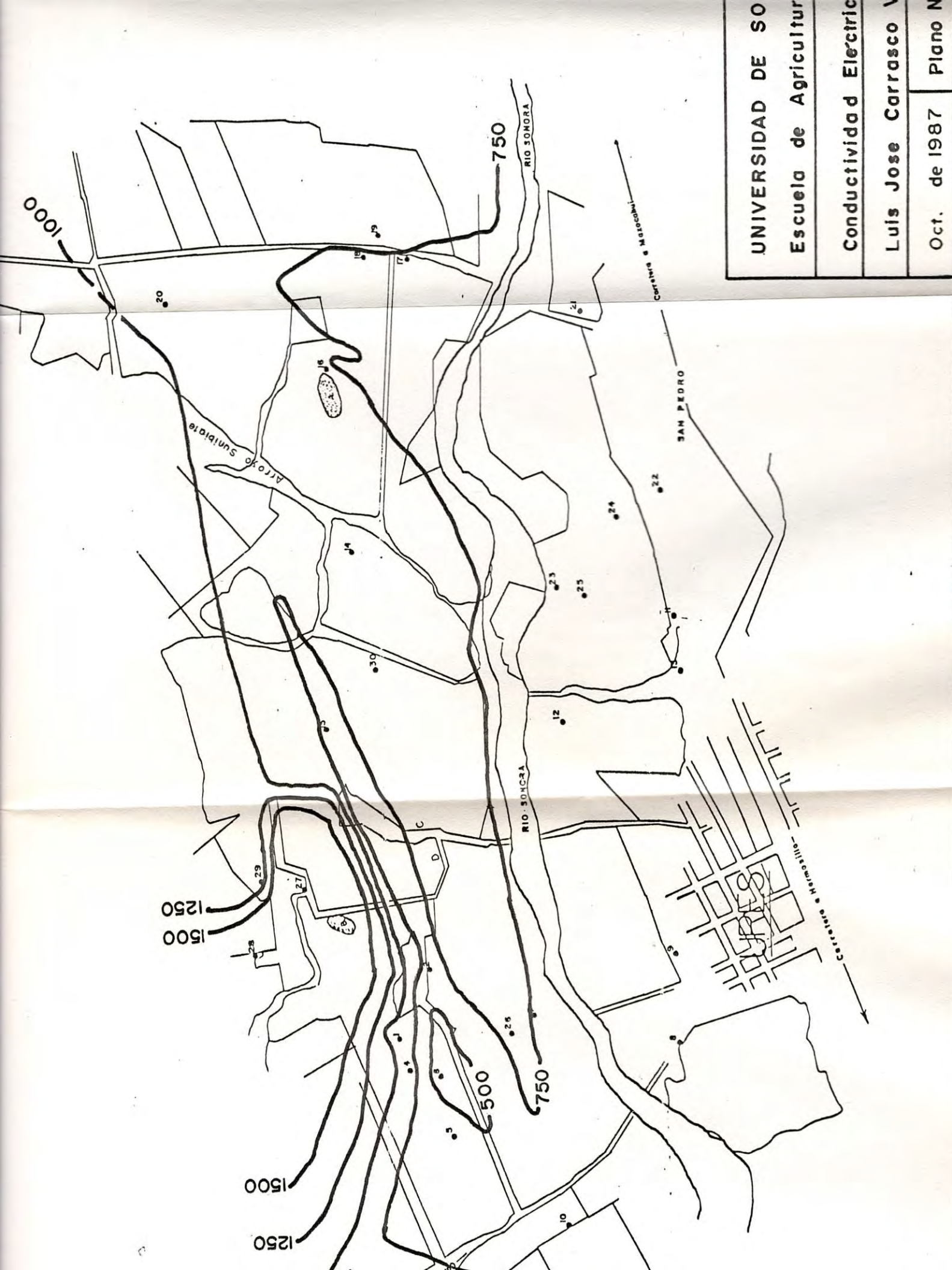
Figura 2. Diagrama Logarítmico de H. Schoeller.

observar el diagrama se puede distinguir con facilidad como este anión está en mayor concentración con respecto a los demás aniones gráficados, ya que la mayoría de las muestras de agua quedan agrupadas junto con las muestras 1 y 21 mostradas en la figura 2, no así las muestras 27 y 28 cuyo comportamiento es muy diferente a los demás, notándose que la concentración en todos sus elementos analizados es mayor. Lo mismo sucede con los cationes analizados, correspondiendo al calcio tener la principal dominancia en cuanto a su concentración, con la excepción de las muestras 27 y 28, donde el sodio viene a ser quien domine en estas dos aguas.

Cabe aclarar que las gráficas y figuras utilizadas en este estudio son representativas para las demás muestras de agua ya que tienen más o menos el mismo comportamiento de estos.

En el diagrama de Stiff modificado (Fig. 3), se puede observar como sobresalen el bicarbonato y el calcio en las muestras 1, 2, 21, que tienen un comportamiento parecido a las demás muestras y como en las muestras 27 y la 28 existe una alta concentración de Sodio.

En los diagramas circulares se puede observar que los elementos dominantes en estas aguas son el bicarbonato y el calcio en casi todas las aguas, siendo la excepción las muestras 27 y 28 que sobresalen con bicarbonatos y sodio. Los diagramas circulares están representados en por ciento de acuerdo al Cuadro 11.



UNIVERSIDAD DE SO
 Escuela de Agricultur
 Conductividad Electric
 Luis Jose Carrasco V
 Oct. de 1987 Plano N

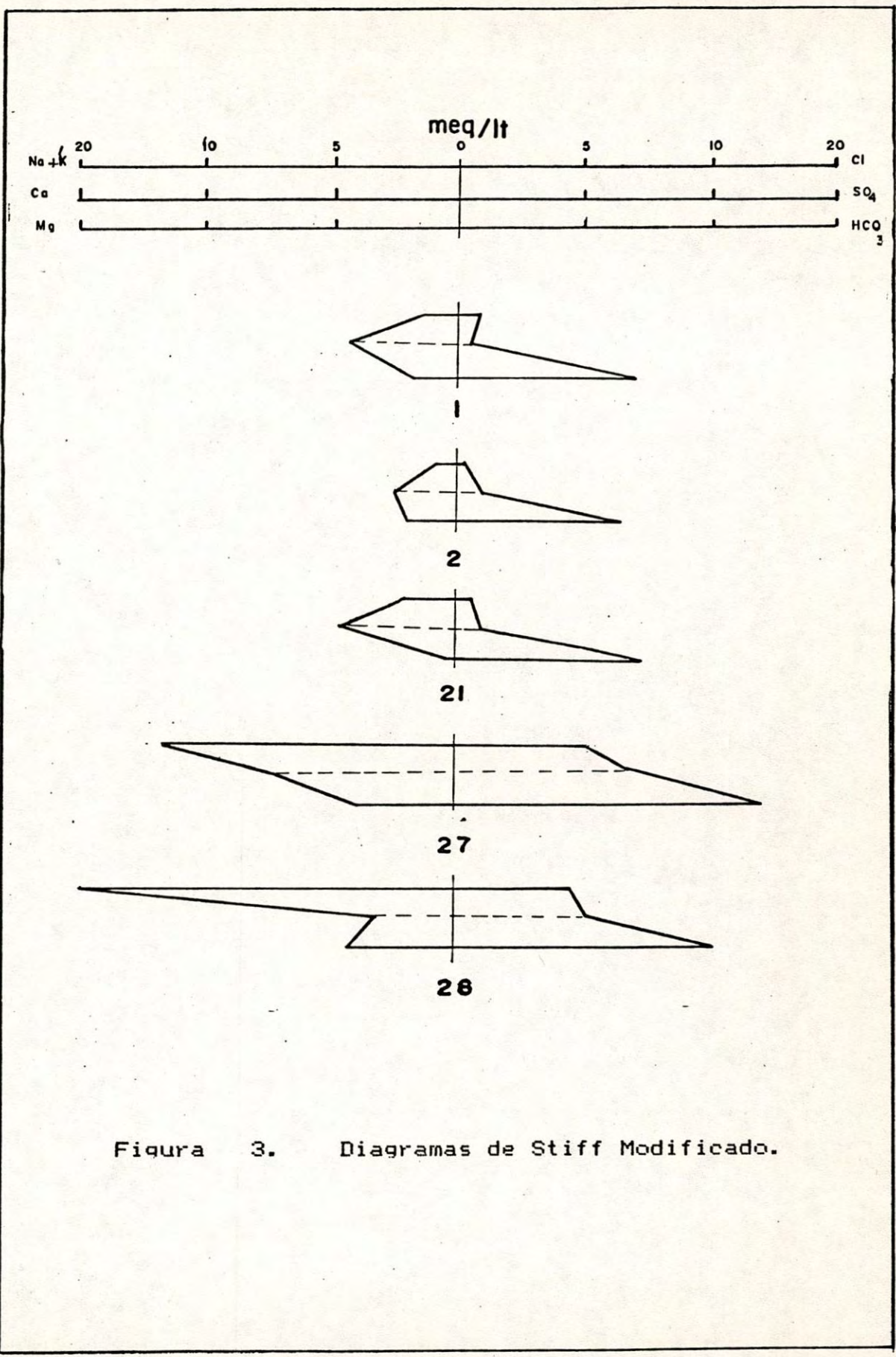


Figura 3. Diagramas de Stiff Modificado.

Al ser comparados los diagramas de Stiff y los circulares, se pudo distinguir como las aguas casi en su totalidad se encuentran predominando los elementos antes mencionados.

En el plano 6, de isobicarbonatos se puede distinguir como la concentración de este anión va en aumento cuanto más se aleja de la corriente del río, encontrándose variaciones suaves entre las muestras 15 y 16, no así en las muestras 27, 28, 29, donde las variaciones fueron más fuertes, encontrándose además mayor incremento en el contenido de bicarbonatos, correspondiendo a norias que se encuentran con profundidades entre los 1 y 5 metros. Este incremento puede ser debido a la presencia de capas carbonatadas originadas por la sedimentación de rellenos del área ocasionados por el arrastre de material de los cerros.

El plano 7, de la relación rMg^{++}/rCa^{++} , nos permite ver como la configuración de las curvas tienen un incremento de valor en la relación cuanto más se aleja de la corriente del río, hecho que coincide con lo antes mencionado en una alimentación directa del río en la recarga del acuífero.

En el plano 8, de la relación rSO_4^{2-}/rCl^- , resulta evidente como la relación va cambiando en el sentido del flujo subterráneo.

Observando el plano podemos distinguir que la relación es máxima en las partes cercanas al río y disminuyendo al alejarse de la corriente. Apreciándose cambios rápidos

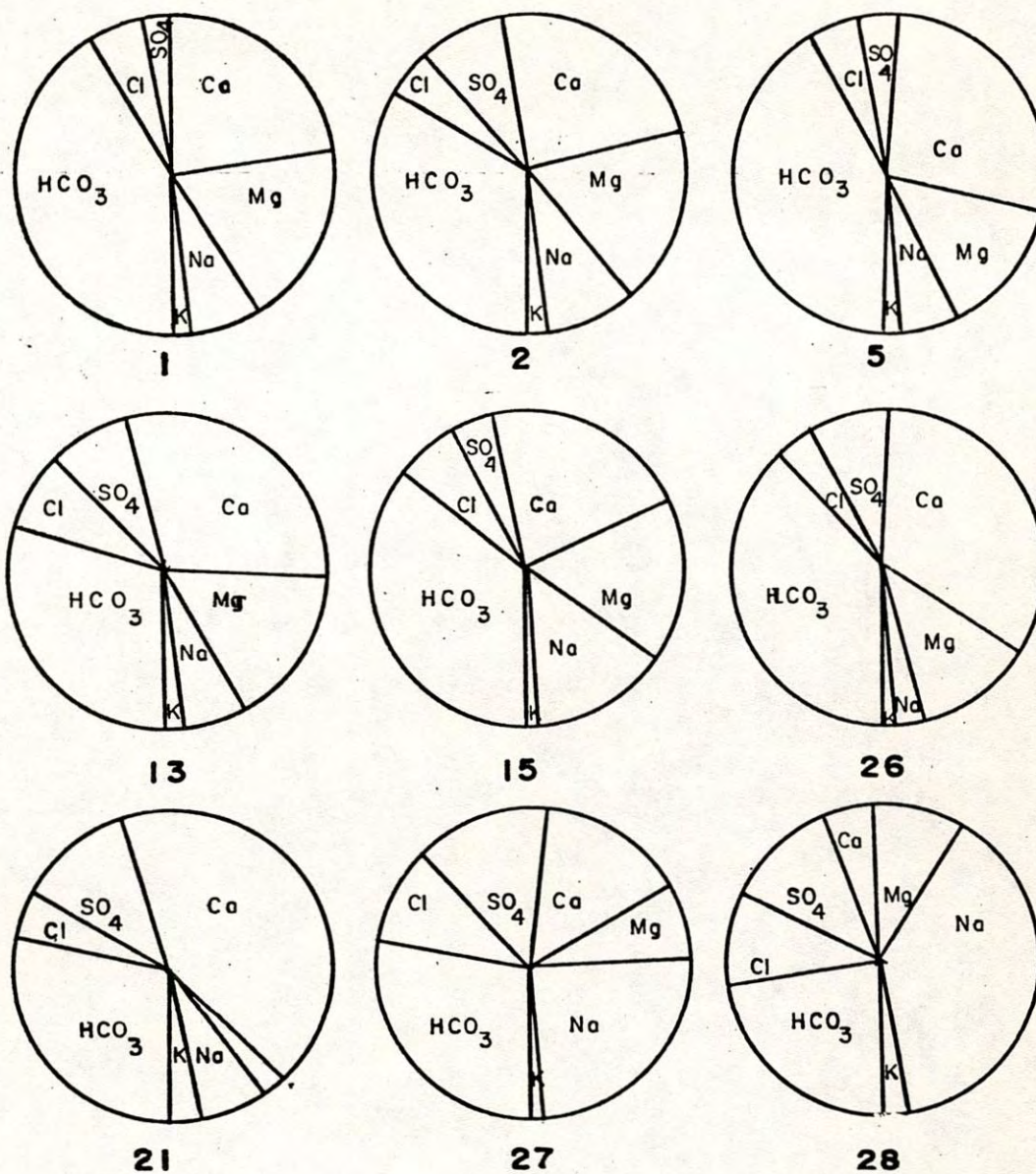
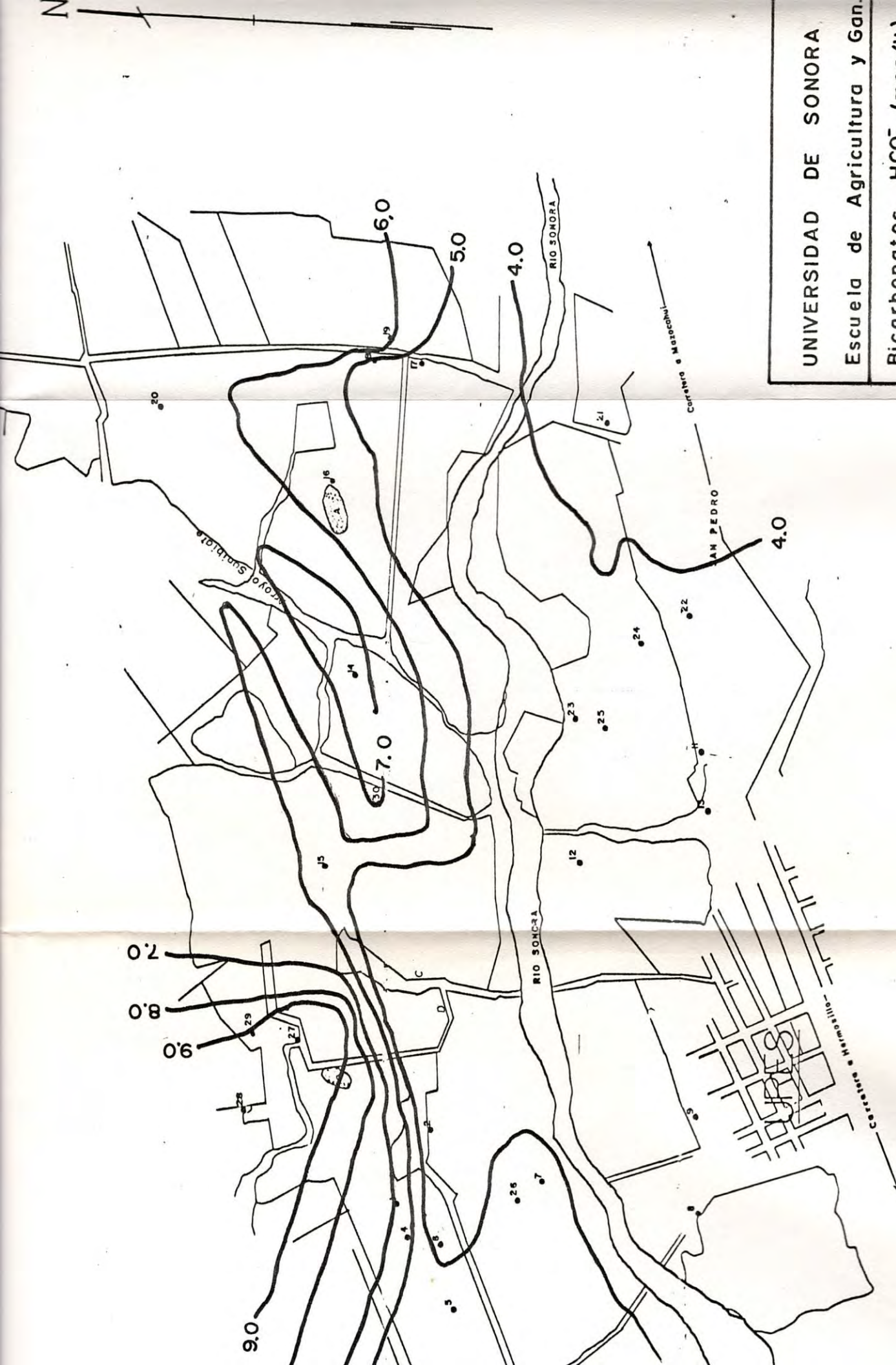


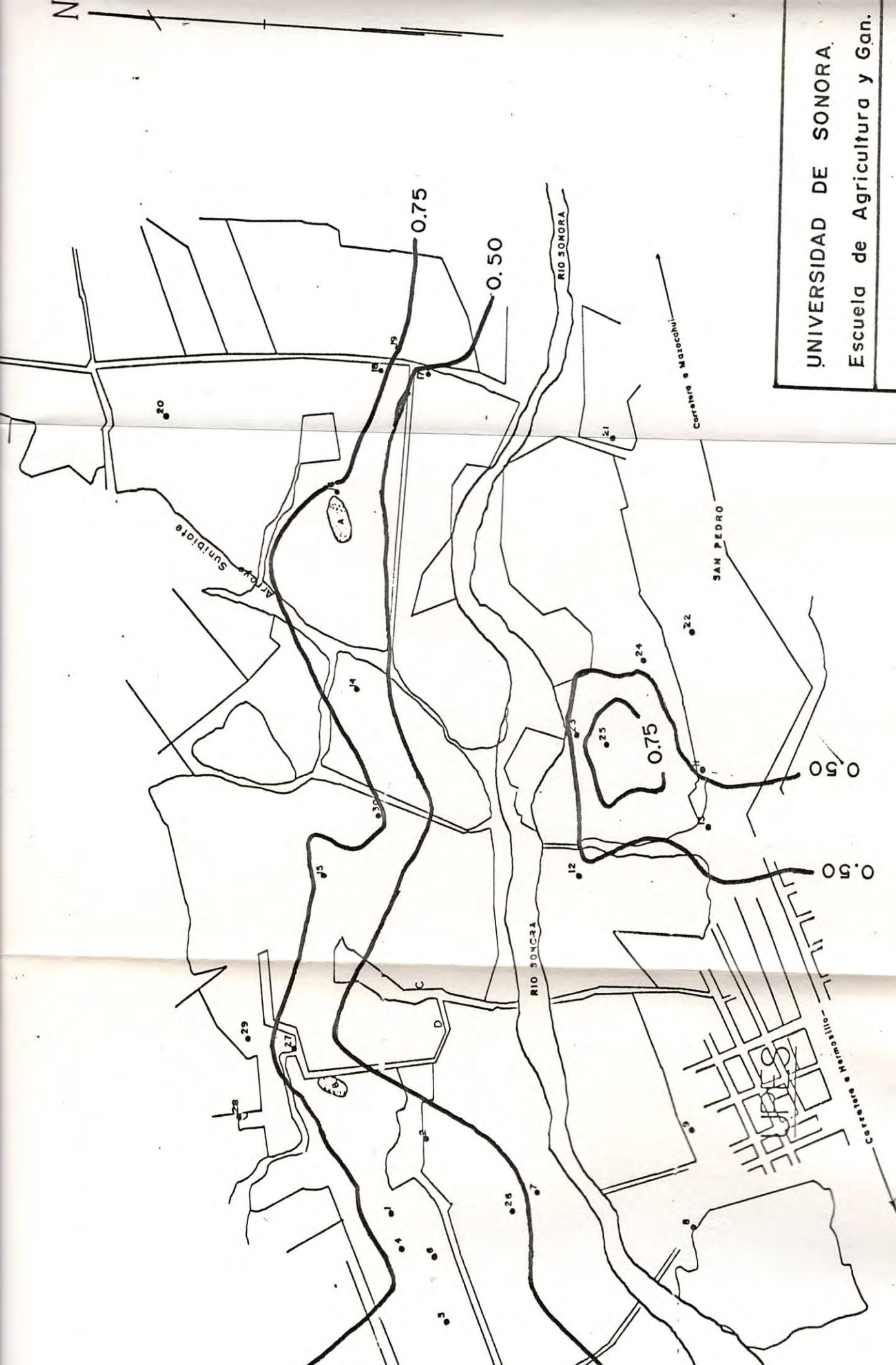
Figura 4. Diagramas Circulares



UNIVERSIDAD DE SONORA
 Escuela de Agricultura y Ganadería
 Bicarbonatos HCO_3^- (meq/lit.)
 Luis Jose Carrasco Vidal
 Oct. de 1987 Plano N° 6

entre las norias 20 y 30, así también entre las norias 7 y 26, teniendose que dentro del resto del área se distinguen cambios más graduales, este hecho en la relación también nos indica la influencia de recarga por el río.

Los cambios graduales provenientes del NE de la zona pueden ser debidos a la alimentación al acuífero por el arroyo Sunibiate.



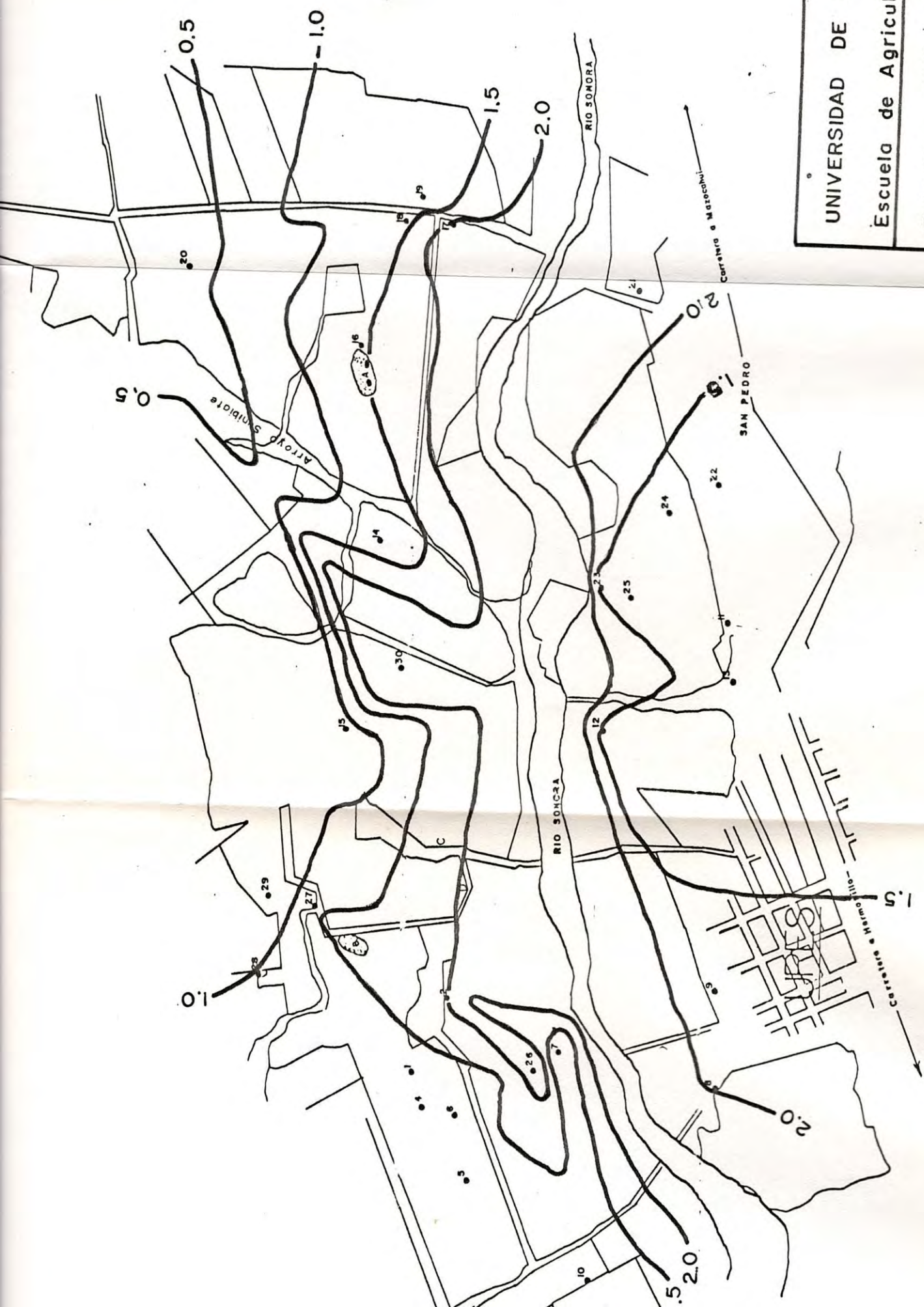
UNIVERSIDAD DE SONORA

Escuela de Agricultura y Gan.

Relación $r Mg^{++} / r Ca^{++}$

Luis Jose Carrasco Vidal

Oct. de 1987 | Plano N^o. 7



UNIVERSIDAD DE SONORA
Escuela de Agricultura y Ganadería
Relación rSO_4 / rCl^-
Luis Jose Carrasco Vida
Oct. de 1987
Plano N°

CLASIFICACION DE AGUAS

Basandose en la clasificación del ion dominante y apoyados en el diagrama triangular de Piper-Hill-Langalier junto con los cuadros 10 y 11 estas aguas resultaron ser bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas mixtas en su mayoría (fig. 5), (Cuadro 12), está dominancia por el bicarbonato y el calcio es común cuando existe la presencia de material carbonatado (Dolomita y Piedras Calizas), ya que el orden común de los componentes en el agua en contacto con estos materiales son; $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ y $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ como podemos observarlos en el Cuadro 13, correspondientes a las comparaciones iónicas en orden decreciente encontrados en estas aguas. Todo lo anterior puede ser ocasionado por el arrastre de material de las rocas que afloran en las fronteras de la región y por acarreos del río. Cabe aclarar que dos muestras revelaron un aspecto sodico (27 y 28).

Dentro de la clasificación de aguas para usos agrícolas (Wilcox) en la zona de estudio, se obtuvo que la parte al margen izquierdo del río Sonora, la relación absorción de sodio y la conductividad eléctrica nos dio aguas de tipo C2-S1 consideradas como aguas de salinidad media que puede usarse con un grado moderado de lavado y además bajo en sodio, está agua puede ser utilizada para cualquier suelo. En lo que corresponde al margen derecho del río, se obtuvieron aguas C3-S1 y C2-S1, donde las aguas fuerón C3-S1 son aguas altamente salinas y que no pueden usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente.

Siendo la excepción las muestras 28 y 29 donde se obtuvo aguas C4-S2 y C4-S3 respectivamente, las cuales son aguas altamente salinas, además que pueden producir niveles tóxicos de sodio, no apropiadas para el uso agrícola. Si se observa el cuadro 14, se podrá corroborar el índice agrícola (Wilcox), correspondiente a cada aprovechamiento censado, así como la fig. 6, usada para la clasificación de estas aguas.

En el Plano 9, de la relación $rNa^+ / (rNa^+ + rCa^{++} + rMg)$, podemos constatar lo antes mencionados, el plano nos muestra el incremento del sodio cuanto más se aleja de la corriente del río hacia sus fronteras al Norte, siendo el mayor incremento hacia el NW de la zona de estudio.

En base al contenido de sólidos totales disueltos, se considera que estas aguas son aceptables para la agricultura, ya que casi en la totalidad de norias y pozos el contenido de sólidos totales disueltos es menor de 1000 mg/lt (Plano 10), a excepción de las norias 14, 27 y 28 donde sus valores fueron mayores y los cuales varían entre los 1115 y 2800 mg/lt, estas norias son usadas en la región como abrevaderos.

Estimación del Peligro de Sodio en las Aguas de Riego

Tomando en cuenta los resultados anteriores de la determinación del RAS en las aguas de la zona, se procedió a hacer una estimación del posible peligro de sodio que pueda ser aportado por las aguas de riego al ser aplicadas a los suelos. Determinándose por medio de un nuevo procedimiento

ajustando el RAS del agua de riego, ya que en estas no se considerarán los bicarbonatos contenidos en las aguas.

Los resultados obtenidos de esta estimación se pueden observar en el cuadro 15, donde se aprecia el posible incremento de sodio al ser aplicados al suelo. Este incremento es debido a que al regar con aguas bicarbonatadas en suelos con presencia de calcio provoca la precipitación de CaCO_3 y esto trae como consecuencia el riesgo de acumulación de sodio por estas aguas. Además que son aguas con pH menores de 8.4 lo cual trae un mayor riesgo en el incremento de sodio. Ya que esto provoca que los suelos no amortiguen la cantidad de sales que son aplicadas por estas aguas debido a la precipitación del CaCO_3 , al observar el cuadro podemos distinguir el incremento posible en el RAS aj. con respecto al RAS del agua al ser estas aplicadas a los suelos.

Cuadro 10. cálculos de las cantidades en reacción (en %), para cada elemento analizado con respecto a su concentración salina (CS).

Muestra	HCO ⁻ 3	Cl ⁻	SO ⁼ 4	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
1	41.07	4.76	4.40	27.98	13.09	7.74	0.95
2	33.79	4.33	8.92	24.26	19.93	7.45	1.29
3	36.89	5.67	7.60	34.05	7.38	7.38	1.02
4	41.61	5.76	4.16	32.65	12.16	2.75	0.89
5	42.21	4.60	4.07	27.63	13.81	6.60	1.07
6	48.21	6.18	2.10	23.48	7.42	10.63	1.98
7	39.14	4.57	4.37	26.74	15.65	8.48	1.04
8	32.66	4.35	8.27	26.85	20.32	6.24	1.31
9	33.58	4.80	8.09	32.90	13.02	5.89	1.71
10	39.09	5.68	4.55	26.29	17.05	6.11	1.21
11	33.33	4.54	9.85	31.82	14.39	4.92	1.14
12	32.94	5.86	6.81	32.21	14.64	6.29	1.24
13	30.48	7.26	8.13	30.48	15.96	6.24	1.41
14	37.14	5.52	6.13	24.62	14.57	10.90	1.05
15	35.11	6.75	4.46	22.28	16.20	14.65	0.54
16	33.97	4.94	7.16	22.85	16.68	13.40	0.94
17	35.92	4.18	10.19	30.24	10.86	7.18	1.59
18	33.06	5.28	8.23	23.51	19.84	7.93	1.54
19	29.47	5.80	6.86	20.77	15.46	8.36	13.28
20	37.07	9.55	3.59	23.59	21.91	7.30	0.84
21	31.84	4.30	9.89	43.02	1.72	7.40	1.81
22	33.50	6.54	6.45	23.69	21.24	7.03	1.55

Cuadro 10. Continuación.

Muestra	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
24	30.91	7.19	7.98	31.63	14.38	6.18	1.72
25	29.37	6.15	7.38	21.86	21.86	11.82	1.57
26	38.11	3.94	8.74	33.51	11.83	2.82	1.05
27	28.26	9.87	14.40	14.32	7.35	25.24	0.56
28	22.59	10.27	10.76	5.96	9.04	39.29	2.09
29	50.36	9.51	3.86	13.43	12.31	9.68	0.84
30	32.21	4.60	18.08	19.33	15.19	9.53	1.06
31	29.11	5.09	13.03	38.57	4.37	6.26	0.65

Cuadro 11. Cálculos de los porcentajes de los análisis químicos con respecto al total de las cantidades en reacción por cien (%).

Muestra No.	HCO ⁻ 3	Cl ⁻	SO ⁼ 4	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
1	81.76	9.48	8.76	56.23	26.31	15.54	1.91
2	71.83	9.20	18.96	45.83	37.65	14.07	2.44
3	73.54	11.30	15.15	68.33	14.81	14.81	2.05
4	80.75	11.18	8.07	67.39	25.10	5.67	1.84
5	82.96	9.04	7.99	56.26	28.12	13.44	2.18
6	85.54	10.94	3.72	53.96	17.05	24.43	4.55
7	81.40	9.50	9.08	51.51	30.15	16.33	2.00
8	72.13	9.61	18.26	49.07	37.15	11.40	2.39
9	72.26	10.33	17.41	61.47	24.33	11.00	3.19
10	79.26	11.52	9.22	51.89	33.65	12.06	2.37
11	69.84	9.51	20.64	60.88	27.53	9.41	2.18
12	72.22	12.85	14.93	59.23	26.92	11.57	2.28
13	66.45	15.83	17.72	56.35	29.51	11.54	2.61
14	76.13	11.32	12.55	48.14	28.49	21.31	2.05
15	75.79	14.57	9.63	41.51	30.18	27.29	1.01
16	73.73	10.72	15.54	42.38	30.93	24.25	1.84
17	71.43	8.31	20.26	60.63	21.78	14.39	3.18
18	70.09	12.46	17.45	44.51	37.56	15.01	2.91
19	69.95	13.77	16.28	35.89	26.71	14.45	22.95
20	73.81	19.02	7.15	43.98	40.85	13.60	1.56
21	69.17	9.34	21.49	79.74	3.18	13.72	3.35

Cuadro 11. Continuación.

Muestra No.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	
22	72.06	14.07	13.87	44.27	39.69	13.14	2.89
23	73.18	11.38	15.44	48.34	30.87	17.45	3.34
25	68.46	14.33	17.20	38.27	38.27	20.69	2.75
26	75.03	7.76	17.20	68.09	24.04	5.73	2.13
27	53.79	18.79	27.41	30.17	15.48	53.17	1.18
28	51.79	23.54	24.67	10.57	16.03	69.69	3.70
29	79.09	14.92	6.06	37.04	33.95	26.69	2.32
30	58.68	8.38	32.94	42.85	33.67	21.13	1.30
31	58.06	10.15	25.99	77.37	8.37	12.56	1.30

Cuadro 12. Clasificación de aguas de acuerdo a los iones dominantes.

Muestra	Censo	Familia de Aguas
No.	No.	
1	1042	Bicarbonatada-Cálcica
2	1043	Bicarbonatada-Mixta
3	1051	Bicarbonatada-Cálcica
4	1051-1	Bicarbonatada-Cálcica
5	1052	Bicarbonatada-Cálcica
6	1053	Bicarbonatada-Cálcica
7	1053-1	Bicarbonatada-Cálcica
8	1056	Bicarbonatada-Mixta
9	1057	Bicarbonatada-Cálcica
10	1061	Bicarbonatada-Cálcica
11	1065	Bicarbonatada-Cálcica
12	1065-1	Bicarbonatada-Cálcica
13	1065-3	Bicarbonatada-Cálcica
14	1068	Bicarbonatada-Mixta
15	1073	Bicarbonatada-Mixta
16	1075	Bicarbonatada-Mixta
17	1076	Bicarbonatada-Cálcica
18	1077	Bicarbonatada-Mixta
19	1077-1	Bicarbonatada-Mixta
20	1077-2	Bicarbonatada-Mixta
21	1083	Bicarbonatada-Cálcica

Cuadro 12. Continuación.

Muestra	Censo	Familia de Aguas
No.	No.	
22	1086	Bicarbonatada-Mixta
23	1087	Bicarbonatada-Mixta
24	1087-1	Bicarbonatada-Cálcica
25	1087-2	Bicarbonatada-Mixta
26	S.N.	Bicarbonatada-Cálcica
27	60	Bicarbonatada-Sódica
28	2	Bicarbonatada-Sódica
29	3	Bicarbonatada-Mixta
30	7	Bicarbonatada-Mixta
31	R.S.	Bicarbonatada-Cálcica.

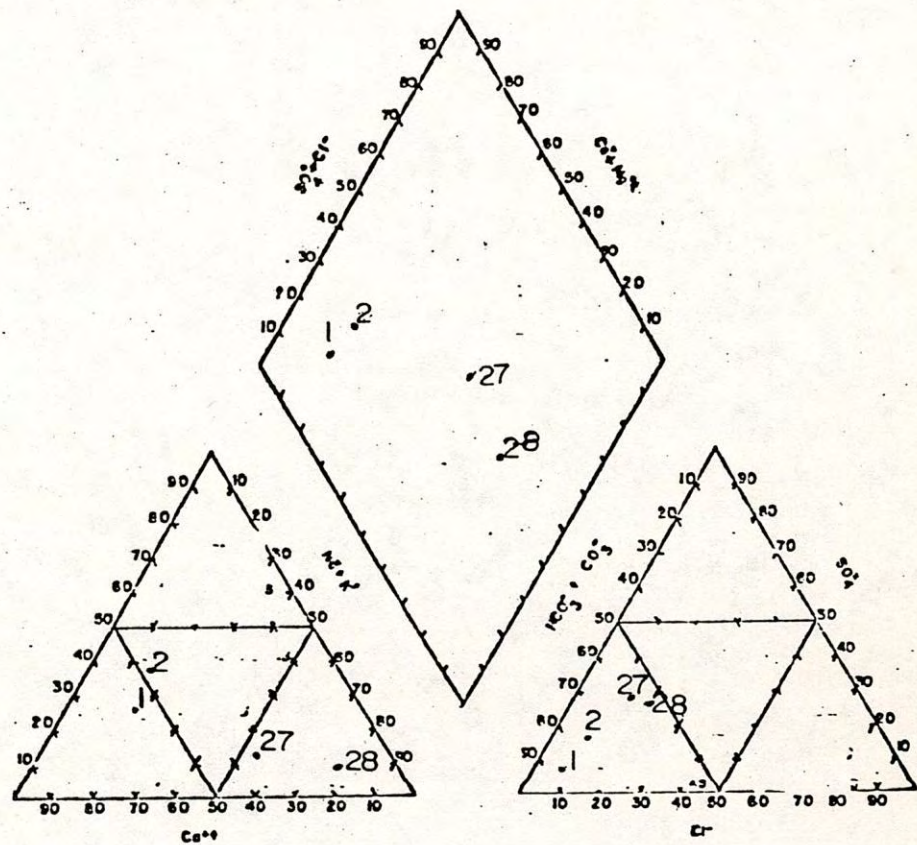


Figura 5. Diagrama de Piper-Hill-Langelier.

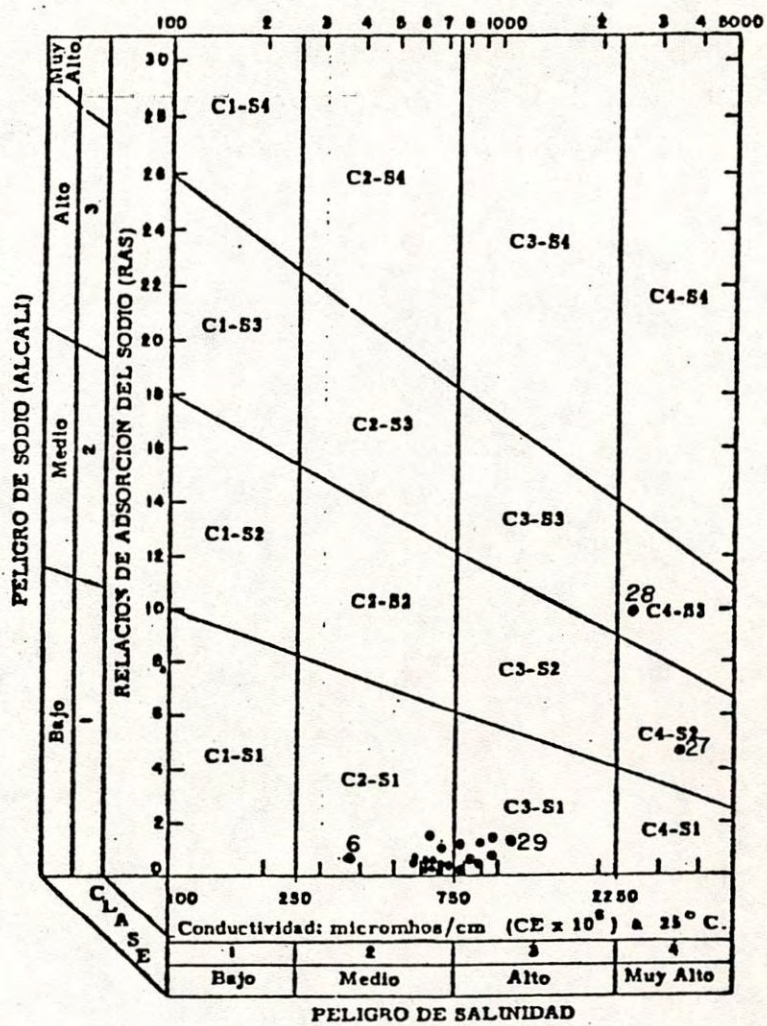


Figura 6. Diagrama para la Clasificación de las Aguas de Riego.

Cuadro 13. Comparaciones iónicas (formulas iónicas), en orden decreciente de las cantidades en reacción por cien (%).

Muestra	Formulas Iónicas	
No.		
1	$\text{HCO}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}^=$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
2	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
3	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
4	$\text{HCO}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}^=$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
5	$\text{HCO}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}^=$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
6	$\text{HCO}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}^=$	$\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$
	3 4	
7	$\text{HCO}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}^=$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
8	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
9	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
10	$\text{HCO}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}^=$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
11	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
12	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
13	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
14	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
15	$\text{HCO}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}^=$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
16	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
17	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
18	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	
19	$\text{HCO}^- > \text{SO}^= > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$
	3 4	
20	$\text{HCO}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}^=$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$
	3 4	

Cuadro 13. Continuación.

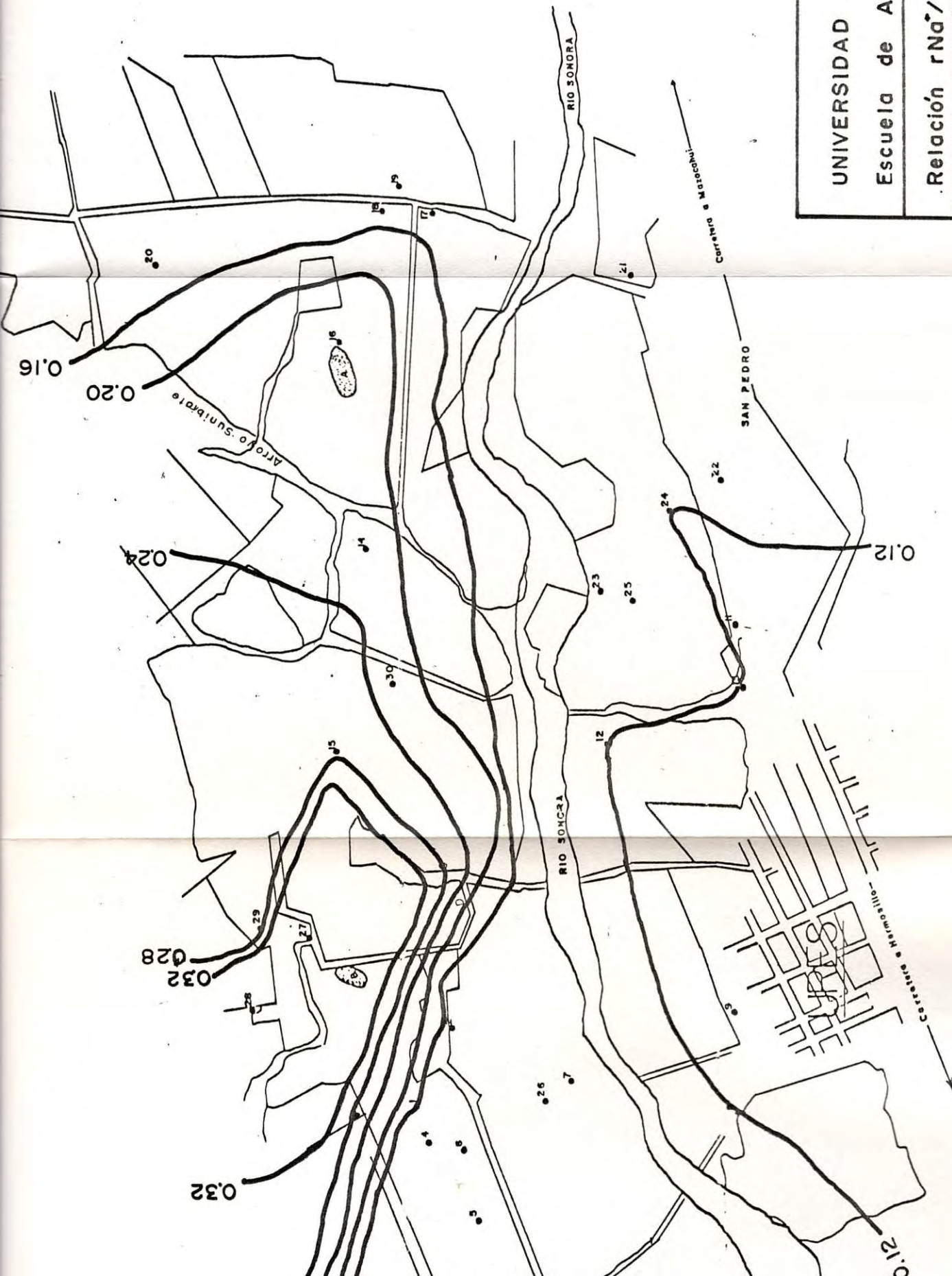
Muestra	Formulas		Iónicas
No.			
21	HCO ⁻ ₃	SO ⁼ ₄ > Cl ⁻	Ca ⁺⁺ > Na ⁺ > K ⁺ > Mg ⁺⁺
22	HCO ⁻ ₃	Cl ⁻ > SO ⁼ ₄	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ > Na ⁺ > K ⁺
23	HCO ⁻ ₃	SO ⁼ ₄ > Cl ⁻	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ > Na ⁺ > K ⁺
24	HCO ⁻ ₃	SO ⁼ ₄ > Cl ⁻	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ > Na ⁺ > K ⁺
25	HCO ⁻ ₃	SO ⁼ ₄ > Cl ⁻	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ > Na ⁺ > K ⁺
26	HCO ⁻ ₃	SO ⁼ ₄ > Cl ⁻	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ > Na ⁺ > K ⁺
27	HCO ⁻ ₃	SO ⁼ ₄ > Cl ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ > K ⁺
28	HCO ⁻ ₃	SO ⁼ ₄ > Cl ⁻	Na ⁺ > Mg ⁺⁺ > Ca ⁺⁺ > K ⁺
29	HCO ⁻ ₃	Cl ⁻ > SO ⁼ ₄	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ > Na ⁺ > K ⁺
30	HCO ⁻ ₃	SO ⁼ ₄ > Cl ⁻	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ > Na ⁺ > K ⁺
31	HCO ⁻ ₃	SO ⁼ ₄ > Cl ⁻	Ca ⁺⁺ > Na ⁺ > Mg ⁺⁺ > K ⁺

Cuadro 14. Clasificación de aguas en la zona de estudio en Ures, Sonora, de acuerdo al diagrama de Wilcox, (* meq/lt).

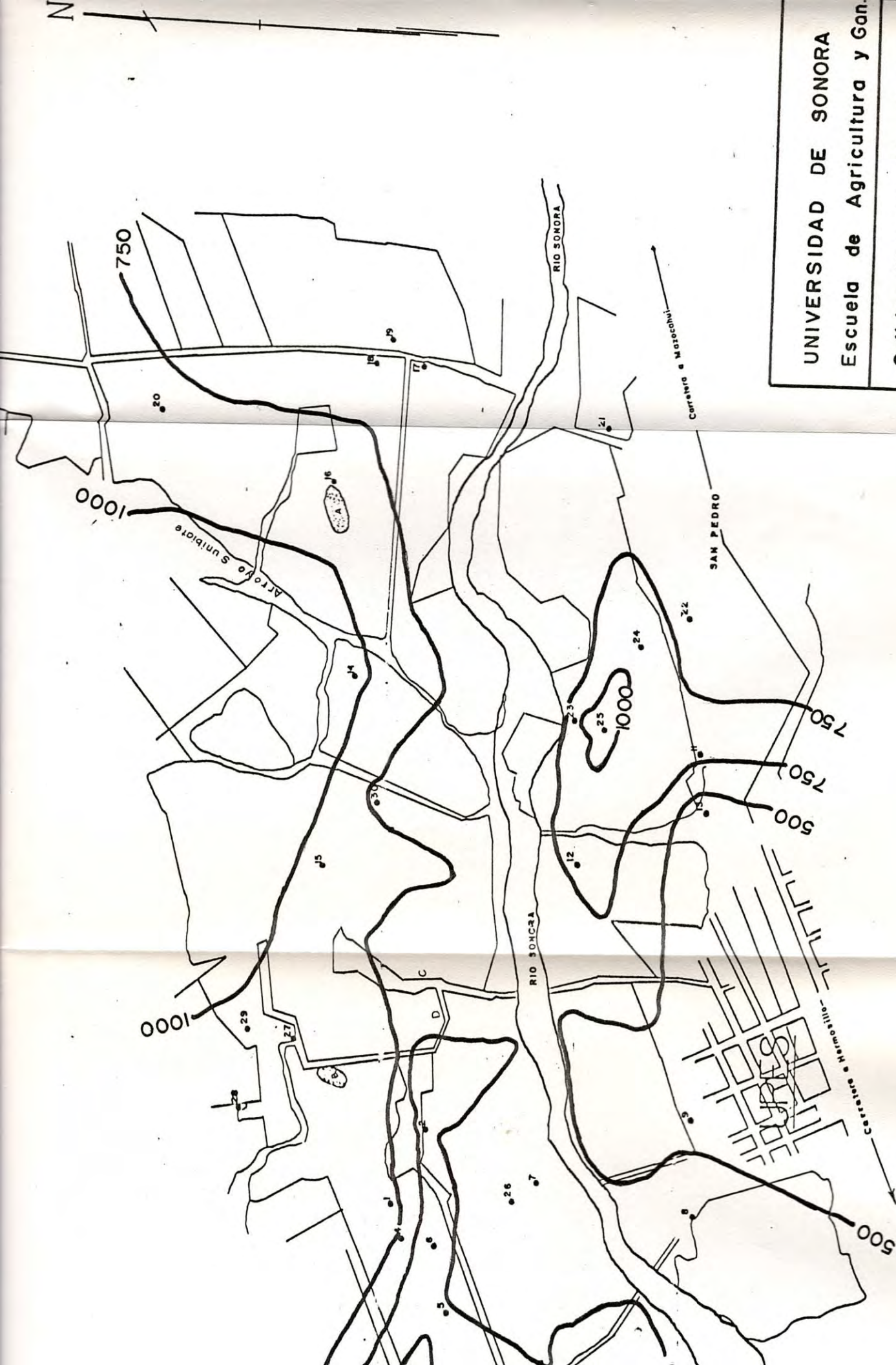
Muestra	C.E.	Ca	Mg	Na	RAS	Clasificación.
No.	micromhos/cm *	*	*	*		
1	857.7	4.70	2.20	1.30	0.70	C3-S1
2	590.8	2.80	2.30	0.86	0.54	C2-S1
3	876.7	6.00	1.30	1.30	0.68	C3-S1
4	771.9	5.10	1.90	0.43	0.18	C3-S1
5	648.0	3.60	1.80	0.86	0.52	C2-S1
6	371.6	1.90	0.60	0.86	0.77	C2-S1
7	748.1	4.10	2.40	1.30	0.72	C2-S1
8	686.1	3.70	2.80	0.86	0.48	C2-S1
9	705.1	4.80	1.90	0.86	0.47	C2-S1
10	686.1	3.70	2.40	0.86	0.49	C2-S1
11	676.6	4.20	1.90	0.65	0.37	C2-S1
12	657.5	4.40	2.00	0.86	0.48	C2-S1
13	705.1	4.20	2.20	0.86	0.48	C2-S1
14	933.9	4.90	2.90	2.17	1.10	C3-S1
15	695.6	3.30	2.40	2.17	1.28	C2-S1
16	762.4	3.70	2.70	2.17	1.21	C3-S1
17	667.1	3.60	1.30	0.86	0.55	C2-S1
18	648.0	3.20	2.70	1.08	0.63	C2-S1
19	933.9	4.30	3.20	1.73	0.89	C3-S1
20	867.2	4.20	3.90	1.30	0.65	C3-S1

Cuadro 14. Continuación.

Muestra	C.E.	Ca	Mg	Na	RAS	Clasificación
No.	micromhos/cm *	*	*	*		
21	557.5	5.00	0.20	0.86	0.53	C2-S1
22	609.9	2.90	2.60	0.86	0.52	C2-S1
23	638.5	3.60	2.30	1.30	0.76	C2-S1
24	724.2	4.40	2.00	0.86	0.48	C2-S1
25	705.1	3.20	3.20	1.73	0.97	C2-S1
26	800.0	5.10	1.80	0.43	0.23	C3-S1
27	3621.4	7.40	3.80	13.04	5.51	C4-S2
28	2525.4	2.90	4.40	19.13	10.01	C4-S3
29	1115.0	2.40	2.20	1.73	1.14	C3-S1
30	972.0	4.20	3.30	2.07	1.07	C3-S1
31	701.5	5.30	0.60	0.86	0.50	C2-S1



UNIVERSIDAD DE SONORA
Escuela de Agricultura y G
Relación $rNa^+/rNa^+ + rCa^{++} + rM$
Luis Jose Carrasco Vidal
Oct. de 1987 Plano N° 9



UNIVERSIDAD DE SONORA
Escuela de Agricultura y Gan.

Solidos Totales Disueltos

Luis Jose Carrasco Vidal

Oct. de 1987. Plano No 10

Cuadro 15. Resultados obtenidos de la estimación del peligro de sodio en las aguas para riego de la zona de estudio.

Muestra No.	RAS del agua	pHc	I.S.	RAS aj.
1	0.70	7.1	1.3	3.22
2	0.54	7.2	1.2	2.38
4	0.18	6.8	1.6	0.94
5	0.52	7.2	1.2	2.28
6	0.77	7.5	0.9	2.93
7	0.72	7.1	1.3	3.31
8	0.48	6.7	1.7	2.59
9	0.47	7.0	1.4	2.26
10	0.49	7.0	1.4	2.35
11	0.37	7.1	1.3	1.70
12	0.48	7.2	1.2	2.11
14	1.10	6.8	1.6	5.72
15	1.28	7.1	1.3	5.89
16	1.21	7.1	1.3	5.57
17	0.55	7.2	1.2	2.42
20	0.65	6.9	1.5	3.25
22	0.52	7.1	1.3	2.39
23	0.76	7.2	1.2	3.34
25	0.97	7.2	1.2	4.27
26	0.23	6.8	1.6	1.20
31	0.50	7.2	1.2	2.20

CONCLUSIONES

Como resultado del presente estudio se concluye que;

El acuífero en estudio recibe como recarga principal los volúmenes aportados por el río Sonora y el arroyo Sunibiate en forma superficial y subterránea.

El área está representada por rocas de tipo sedimentario perteneciente al Cuaternario y formado por material de acarreo, en sus inmediaciones por rocas graníticas y volcánicas del Terciario.

Según plano fotogeológico de la región se determinó que las formaciones existentes constituyen zonas de recarga al acuífero y delimitar las unidades geológicas.

Con la configuración de niveles estáticos se determinó la dirección del flujo subterráneo, siendo este de NW a SE en su recorrido por la zona de estudio.

De la interpretación de los resultados químicos de las aguas, predominan en ellas los bicarbonatos y el calcio en la mayor parte de la zona, solo dos muestras al Norte presentan altos contenidos de sodio, usados estos para abrevadero.

Se elaborarán planos hidrogeoquímicos del acuífero para poder caracterizar la evolución química del agua, de acuerdo a su concentración ó a sus valores en las relaciones de índices químicos.

En la zona existen familias de aguas bien definidas casi en su totalidad son aguas bicarbonatadas cálcicas y

bicarbonatadas mixtas, encontrándose solo dos aguas bicarbonatadas sodicas.

De acuerdo a su salinidad, las aguas del acuífero se encuentran condicionadas ya que se presentan aguas del tipo C2-S1 y C3-S1 en casi todo el área y a su sodicidad estas aguas muestran un considerable incremento al ser aplicados al suelo, ya que se estima un alto incremento en el RAS ajustado.

RECOMENDACIONES

Ampliar este estudio mediante técnicas geofísicas, de resistividad así como la elaboración de registros eléctricos de los pozos para establecer la posible profundidad y espesor de los estratos.

Establecer estaciones de aforo para determinar los volúmenes que pasan por el río y arroyo con el objeto de cuantificar las infiltraciones en el acuífero.

Realizar obras de piezometría y llevar el control de mediciones periódicas de las variaciones de niveles freáticos.

Cuantificar el volumen de extracción mediante el Aforo de las norias y pozos que se encuentra en la zona.

Con una frecuencia regular efectuar muestreos y análisis químicos de las aguas para estudiar la evolución de la calidad del agua del acuífero.

Y realizar un estudio sobre la caracterización química de los suelos y ver el impacto de la calidad del agua sobre el proceso de salinización de los suelos.

BIBLIOGRAFIA

1. Belousov, V. V. 1971. Problemas Básicos de Geotectónica. Ed. Omega. Barcelona. p. 156-157.
2. Benitez, A. 1972. Captación de las Aguas Subterráneas. 2. Edición. Ed. Dossat, S. A. Madrid, España. p. 579-582.
3. Biggar, J. W. 1985. Class-Notes-Water Science 103. University of California. U.S.A. p. 3-4.
4. Bouwer, H. 1978. Groundwater Hidrology. Ed. Mc-Graw-Hill Book Company, Departament of Agriculture. Phoenix, Arizona. p. 439-445.
5. Bower, A. C. , G. Ogata, and J. M. Tucker. 1968. Sodium Hazard of Irrigation Waters as Influenced by Leaching Fraction and by Precipitation or Solution of Calcium Carbonate. Soil-Science. 106:29-34. p. 29-34.
6. Camara, S. M. 1962. Manual de Geología. 7a. Edición. México 22, D. F. p. 37-50.

7. Castany, G. 1975. Prospección y Explotación de las Aguas Subterráneas. Traducido del Frances por Juan Ramón Julia. Ed. Omega. Barcelona. p. 280-294.
8. Conacyt, e Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey A. C. 1985. Aprovechamiento de las Aguas Subterráneas en la Agricultura. Ciclo Internacional de Conferencias. Tlaxiaco, Coah. México, D. F. p. 17, 67-112.
9. Contreras, M. M. 1985. Comportamiento del Acuífero del Río San Pedro, Cananea, Sonora. Tesis mimeografiada, Escuela de Geología. Universidad de Sonora. p. 3, 8-10, 12-15.
10. Correu, T. G. y J. V. Andrade. 1974. Manual para el Alumbramiento de Aguas Subterráneas. Banco de México, FIRA. México, D. F. p. 17, 67-112.
11. Cruickshank, V. C. y et al. 1983. Manual de Diseños de Obras Civiles. Hidráulica, Geohidrología. Comisión Federal de Electricidad. México, D. F. p. 81-92, 113-127.

12. Custodio, G. E. 1968. Hidrogeoquímica. Curso de Hidrología Subterránea. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Autónoma de Nuevo León. p. 1024-1025, 1037-1044, 1058-1063.
13. Chavez, G. R. 1983. Geohidrología. Universidad Autónoma de Chapingo. México, D. F. p. 10-22, 142-144.
14. Fetter, C. W. 1980. Applied Hydrogeology. Ed. Merrill Publishing Co. U.S.A. p. 14-30, 438-450.
15. Figueroa, V. G. 1968. El Estudio de Aguas Subterráneas. Revista de Ingeniería Hidráulica. México, D. F. 22(4). p. 438-450.
16. Florez, T. 1929. Reconocimientos Geológicos en la Región Central del Estado de Sonora. Secretaría de industria, Comercio y Trabajo. México. p. 11-14, 21-26, 32-59.
17. Garcia, G. P. y J. Z. Salazar. 1986. Correlación Físico-Química entre los acuíferos Calizos y Granular de Bustamante, Nuevo León. Tesis mimeografiada, Escuela

de Geología. Universidad de Sonora. p.
40-45.

18. Glancy, P. A. 1986. Geohydrology of the and Unconsolidated Sedimentary Acuifers in the Falion Area, Churchill, Nevada. United st. Geological Survey Water-Supply. Paper 2246. p. 4-6, 17-33, 41-50, 54-57.
19. Gonzáles, S. A. 1977. Hidrogeoquímica. Ed. Comisión Federal de Electricidad. México, D. F. p. 11-12.
20. Harril, J. R. 1986. Ground-Water Storage Depletión in Pahromp Valley, Nevada California, 1962-1975. United st. Geological Survey Water Supply Paper 2279. p. 3-6, 22-25.
21. Hem, J. D. 1959. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. United st. Governant Printing Office Geological Survey Water-Supply. p. 29-32, 37, 43, 49.
22. Hollet, K. J. 1985. Geohydrology and Water Resources of the Papago Forms-Great, Plain Area, Papago Indian Reservati3n, Arizona and

the Upper Rio Sonoyta Area, Sonora, México. United st. Geological Survey Water-Supply. Paper 2258. p. 2-6, 17-18, 21-28.

23. Jonhson, E. E. 1975. El Agua Subterránea y los pozos. Ed. Jonhson División, UOP, Inc. Minesota. p. 18, 72-75, 87.
24. Lesser, J. M. 1975. Curso de Especialización en Planeación y Administración de Recursos Hidráulicos. Apuntes de Clases. Instituto Politecnico Nacional. p. 10-11, 13-14, 15-17, 19-21, 146-150.
25. Lines, G. C. 1985. The Ground-Water System and Possible Efeccts of Underground Coal Mining in the Trail Mountain Area, Central Uthat. United st. Geological Survey Water-Supply. Paper 2259. p. 11-15, 19-26.
26. Linsley, J. R. et al. 1983. Hidrologia para Ingenieros. Traducido de la segunda edición en ingles de Hidrology for Engineers, por Alejandro Deeb y otros. Ed. McGraw-Hill. México, D. F. p. 164-168.

27. López, V. M. 1978. Manual de Fotogeología. Ed. JEN. Madrid. p. 103-119.
28. Low, J. W. 1966. Geología de Campo. Ed CECSA. México, D.F. p. 25, 122-123, 186-187, 430-440.
29. Mandel, S. and L. Z. Shifhan. 1981. Groundwater Resources. University of Jerusalem Israel, Academic Pres. Inc. New York. p. 180-181.
30. Margat, J. 1971. Seminario Sobre las Aguas Subterráneas. Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Granada, España. p. 66, 68.
31. Murcia, V. A. 1976. Aguas Subterráneas. Publicaciones de Extensión Agraria. 4a. Edición. Madrid. p. 61-75, 289-299.
32. Powell, D. J. and J. D. Larson. 1985. Relation Between Ground-Water Quality and Mineralogy, in the Coal-Producing Norton Formation of Bachonon Country, Virginia. United st. Geological Survey Water-Supply. Paper 2274. p. 2-6.

33. Pulido, J. L. 1978. Hidrogeologia Practica. Ed. Urmo. España. p. 24-29, 261-267, 304-309.
34. Rhoades, D. J, D. B. Kroeger and M. J. Read. 1968. The Effet of Soil-Mineral, Weathering on the Sodium Hazard of Irrigation Water. Soil-Science. 32:644-647.
35. Rhoades, D. J. 1968. Mineral-Weathering Correction for Estimating the Sodium Hazard of Irrigati6n Waters. Soil-Science. 32:648-652.
36. Richards, L. A. 1977. Diagn6stico y Rehabilitaci6n de Suelos Salinos y S6dicos. Ed. Limusa. M6xico. p. 86-88.
37. S.A.R.H. 1970. Estudio Geohidrologico del Valle del R6o Yaqui, Son. Distrito de Riego No. 41. Icatel Consultores. M6xico. p. 9-16, 102-107.
38. S.A.R.H. 1986. Divisi6n Hidrometrica de Hermosillo. Delegaci6n Estatal en Sonora, M6xico.

39. Shainberg, I. and J. D. Oster. 1978.
Quality of Irrigation Water. Ed. IIIC.
Publication 2. U.S.A. p. 12, 15-19.
40. Schoeller, H. 1962. Les Eaux Souterraines,
Hidrologuie, Dinamique et Chimique,
Recherche, Explotación et Evaluation des
Ressources. Ed. Masson & C e. Francia. p.
304-312, 313-329.
41. Stanley, N. D. y J. R. de Wiest. 1971.
Hidrogeologia. Ed. Ariel. Barcelona. p.
138-178. 322-324.
42. Tinajero, J. A. 1982. Aspectos Fundamentales
en el Estudio del Agua Subterránea.
Comisión del Plan Nacional Hidráulico.
S.A.R.H. México, D. F. p. 26-28, 82-90,
95-97, 141-142.
43. Verdugo, M. F. 1983. Los Recursos Geotermicos
del Estado de Sonora. Ed. Gobierno del
Estado de Sonora. Pub. 4. México. p. 50-
55.
44. Waddel, K. M. 1986. Hidrology of the Price
River Basin, Utah Wilh Emphasis on Select
Coal-Field Areas. United st. Geological

Survey Water. Supply. Paper 2246. p. 2-4,
29-33, 35-41.

45. Walton, C. W. 1970. Groundwater Resource
Evaluation. Mc-Graw Hill. New York. p.
439-447.