



UNIVERSIDAD DE SONORA

ESCUELA DE GEOLOGIA



"CARACTERISTICAS GEOLOGICAS E HIDROGEOQUIMICAS DEL
VALLE DE URES, SONORA, MEXICO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

G E O L O G O

P R E S E N T A N

Jorge Ernesto Crett Galan
Francisco Antonio Aguilar Ramos

HERMOSILLO, SONORA

JULIO DE 1989

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



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



Departamento de Geología

Julio 20, 1989.

ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ
Coordinador Ejecutivo
Depto. de Geología
P r e s e n t e

Por este conducto, tengo a bien el someter a su consideración el tema de tesis intitulado:

"CARACTERISTICAS GEOLOGICAS E HIDROGEOQUIMICAS DEL VALLE DE URES, SONORA, MEXICO"

Para que sea sustentada por los pasantes de Geólogo:

JÓRGE ERNESTO CIRETT GALAN

Y

FRANCISCO ANTONIO AGUILAR RAMOS

Sin otro en particular por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

M^{no.} M^{tes.} M^{ño.}
GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO
Director de Tesis

C.c.p. Interesados
Archivo

MMM*ag



Departamento de Geología

Julio 25, 1989.

GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO
Director de Tesis
P r e s e n t e

Por este conducto, me permito informar a usted
que ha sido aprobado el tema de tesis:

"CARACTERISTICAS GEOLOGICAS E HIDROGEOQUIMICAS
DEL VALLE DE URES, SONORA, MEXICO".

El cual será desarrollado por los pasantes:

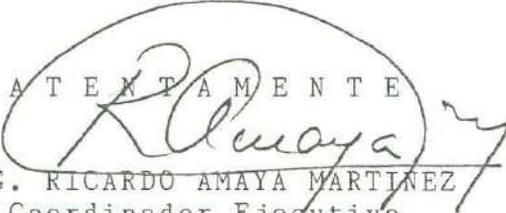
JORGE ERNESTO CIRETT GALAN

Y

FRANCISCO ANTONIO AGUILAR RAMOS

Sin otro en particular, reciba usted, un saludo
cordial.

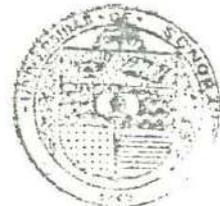
A T E N T A M E N T E


ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ
Coordinador Ejecutivo

RAM*ag



EL SABER DE NUESTROS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES



EN SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA



Departamento de Geología

NOMBRE DE LA TESIS:

" CARACTERISTICAS GEOLOGICAS E HIDROGEOQUIMICAS DEL VALLE DE URES, SONORA, MEXICO"

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:

JORGE ERNESTO CIRETT GALAN

Y

FRANCISCO ANTONIO AGUILAR RAMOS

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

ING. JOSE CASTILLO GURROLA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

GEOL. RICARDO VEGA GRANILLO

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ
Coordinador Ejecutivo



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

RAM*ag

A Dios que es mi refugio, mi fuerza y mi solución.
Gracias por todo cuanto me das aún sin merecerlo.

A Don Abel que fué y será el mejor padre que Dios me pudo dar,
le viviré eternamente agradecido por sus consejos, ejemplos y
sobre todo por su inmenso amor.
Gracias por darme la oportunidad de ser tu hijo.

A mi Nina que es el pilar de mi familia, le agradezco su
ternura, bendiciones y oraciones que me han acompañado siempre, pero
principalmente le doy las gracias por enseñarme a amar a Dios.

A ti mamá quien amo profundamente, te doy las gracias por darme la vida,
por dedicarme tus devenidos, lágrimas, cuidados, sacrificios y sobre todo tu
amor.
Dios te bendiga siempre.

A ustedes Cristina y Rubén por ser como padres más que mis hermanos,
agradezco sus consejos y cariño.

A Lupita tu cariño y apoyo en todo momento, de lo mejor que Dios me ha dado
en esta vida.

A Hector y José mi eterno cariño.

A Coquis que con risas, travesuras y ternura despiertan sentimientos tan
puros en mi corazón . . . Te amo Abel . . .

A Pecas que siempre me ha apoyado y alentado en seguir adelante,
que ha comprendido mis ausencias por trabajo y estudio
y que me ha aceptado como soy.
Angélica eres una parte muy importante en mi ser.

A los maestros que me brindaron su apoyo y conocimientos,
A mis jefes y compañeros de trabajo que me transmitieron su experiencia,
A mis amigos con quien he compartido momentos importantes en mi vida,
Y a todos aquellos que de alguna manera me ayudaron a realizar este trabajo
. . . Gracias.

La importancia del hombre no reside en lo que logra, sino en lo que ansia
lograr.

Gibran Jalil Gibran

Francisco Antonio Aguilar Ramos



EL SABER EN MIS DEJOS
HARA SU GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

A mis padres:

porque este trabajo es resultado de su esfuerzo.

Jorge Cirett

AGRADECIMIENTOS

La realización de ésta tesis fue posible gracias a la cooperación de muchas personas e instituciones, tanto públicas como privadas. Deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y a su coordinador, Ing. Ricardo Amaya M., por la gran ayuda prestada en vehículos y material de campo. Al geólogo Mariano Morales Montaña, por su valiosa asesoría y visitas al área. Al geólogo Ricardo Vega G. por su excelente crítica en la elaboración de ésta tesis.

La Escuela de Agricultura y Ganadería y el Bufete Tecnológico Universitario de la Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad de Sonora llevaron a cabo los análisis químicos de aguas, indispensables para este trabajo. Agradecemos al Ing. Castillo sus consejos y ayuda en ésta área.

Agradecemos al CONACYT la ayuda económica prestada y a la Secretaría de Educación Pública los recursos canalizados por medio de DGICSA al proyecto "Estudios Geológicos-Geofísicos Aplicados a Problemas de Salinidad en Suelos Agrícolas en el Valle de Ures, Sonora" que lleva a cabo el Departamento de Geología de la UNISON.

A la empresa Cobre de Hércules, S.A. le agradecemos las facilidades prestadas y su ayuda en la elaboración e impresión de ésta tesis. Especialmente agradecemos a Sergio Toscano R. la elaboración de los planos necesarios y a Alba Yolanda Villa S. su valiosa ayuda en el maquinado de este trabajo.

Agradecemos también a toda la gente que trabaja en los ranchos y ejidos del área, por la gran hospitalidad y disposición de ayuda con que nos recibieron.

RESUMEN

El Valle de Ures tiene una orientación burdamente norte-sur y es disectado transversalmente por el Río Sonora. Las rocas más antiguas son los sedimentos, detríticos-carbonatados de la Formación Las Víboras de posible edad Precámbrico tardío-Cámbrico inferior. Le siguen en edad los sedimentos detríticos-carbonatados del Grupo San José, mismo que incluye a las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto y otros sedimentos aún no definidos del Cámbrico inferior a medio. La formación Peñasco Verde es definida para rocas detríticas de probable edad Triásico-Jurásico y el Grupo Cerro de Oro correlacionables con el Grupo Bisbee, mientras que la Formación La Palma es constituida por sedimentos de proveniencia de arco magmático, durante el Cretácico Superior. Durante el Cretácico superior-terciario inferior son extruídas grandes cantidades de rocas volcánicas de composición intermedia félsica. Estas rocas volcánicas, así como las antes descritas, son intrusionadas por un batolito granodiorítico compuesto durante el Terciario Inferior, y localmente por pórfidos monzoníticos cuya relación con estos intrusivos no ha sido definida. La Formación La Puerta del Sol es definida para sedimentos rojos continentales con facies lacustres y fluviales, depositados entre el Oligeceno tardío y el Mioceno medio, estos sedimentos son sobreyacidos por la Formación Báucarit en discordancia angular y esta a su vez subyace al volcanismo bimodal del Terciario Superior. Las terrazas fluviales cubren todo el centro del valle y son posiblemente de edad Plioceno-Pleistoceno.

Dentro de este trabajo se recabó, analizó y complementó la información existente de la cuenca existente en el Valle de Ures, comprendido al E hasta la Puerta del Sol y al W al lugar conocido como El Gavilán. El tipo de aprovechamiento de los recursos hidráulicos es en su mayoría subterráneo por medio de norias y pozos de bombeo, tomándose 26 muestras de los lugares anteriores y 2 muestras en el río. Se determinó que el tipo de acuífero existente es libre, esto en relación al promedio de profundidad del nivel freático en el área. Se elaboraron planos hidrogeoquímicos para determinar las características químicas de las aguas del acuífero, así como el comportamiento del flujo subterráneo en relación con la recarga del mismo. Se clasificaron de las aguas de acuerdo a la dominancia de sus componentes, así como su salinidad y el contenido de sólidos totales disueltos, teniendo familias de aguas sulfatadas sódicas y sulfatadas cálcicas en su mayoría y en menor proporción bicarbonatadas sódica y una sola muestra resultó ser bicarbonatadas cálcica.

De acuerdo a su salinidad las aguas del acuífero se encuentran confinadas aguas del tipo C2-S1 y C3-S1. Además se determinó que la cuasa principal de la salinización existente en el valle, está en relación el nivel freático y las condiciones de precipitación y evaporación.

Índice

I.	INTRODUCCION	1
	Objetivos	2
	Método de Trabajo	3
II.	GENERALIDADES	
	Localización y Vías de Acceso	5
	Vías de Acceso.	5
	Clima y Vegetación.	8
	Trabajos Previos.	9
III.	FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA.	13
IV.	GEOLOGIA REGIONAL	
	IV.I Estratigrafía	
	A) Rocas Sedimentarias	15
	Formación Las Víboras	15
	Grupo San José.	20
	Formación Peñasco Verde	26
	Grupo Cerro de Oro y Formación La Palma	29
	Formación La Puerta del Sol	33
	Formación Báucarit.	40
	Terrazas Aluviales.	44
	Aluvión	45
	B) Rocas Igneas	
	Volcanismo.	46
	Rocas Intrusivas Graníticas	49
	Pórfidos Monzoníticos	53
	Volcanismo Bimodal.	55
V.	GEOLOGIA ESTRUCTURAL	57
VI.	GEOLOGIA HISTORICA	59
VII.	GEOLOGIA ECONOMICA	62

VIII.	HIDROLOGIA	65
	CICLO HIDROLOGICO	65
	HIDROLOGIA SUPERFICIAL.	70
	HIDROLOGIA SUBTERRANEA O HIDROGEOLOGIA.	71
	HIDROGEOQUIMICA	75
	INTRODUCCION	75
	MUESTREO	78
	COMPOSICION DE LAS AGUAS	82
	TECNICAS DE ESTUDIO.	86
	METODOLOGIA E INTERPRETACION	93
	METODO DE PIPER-HILL-LANGELIER.	93
	DIAGRAMAS DE STIFF.	99
	DIAGRAMAS CIRCULARES.	102
	CLASIFICACION DE WILCOX	104
	PLANOS DE CURVAS DE ISOVALORES O RELACION IONICA.	110
	Conductividad Eléctrica	111
	Planos de Residuos Secos (STD).	115
	Plano de Isobicarbonatos.	119
	Planos de Relación r_{Mg}/r_{Ca}	122
	Planos de Relación r_{SO_4}/r_{Cl}	125
	Planos de Relación $r_{Na}/(r_{Na} + r_{Ca} + r_{Mg})$	127
	BORO.	129
IX.	CONCLUSIONES	130
X.	RECOMENDACIONES.	133
XI.	BIBLIOGRAFIA	134
XII.	APENDICE	
	Plano Geológico	
	Secciones Geológicas	



EL INSTITUTO VENEZOLANO
PARA EL ESTUDIO Y LA INVESTIGACIÓN
BIBLIOTECA Y CENTRO DE ESTUDIOS
EXACTOS Y NATURALES

Indice de Figuras

1	Plano de Localización 1:1'400,000	6
2	Plano de Localización 1:1'000,000	7
3	Plano de Provincias Fisiográficas	14
4	Columna Estratigráfica Esquemática.	16
5	Tabla de Correlación Estratigráfica del Terciario	39
6	Red Hidrográfica.	72
7	Diagrama de Piper-Hill-Langelier.	94
8	Diagramas de Stiff Modificados.	100
9	Plano con Diagramas de Stiff.	101
10	Diagramas Circulares.	103
11	Diagrama de Clasificación de Aguas.	108
12	Conductividad Eléctrica	113
13	Sólidos Totales Disueltos	118
14	Bicarbonatos HCO_3 (meg/lt).	121
15	Relación $r\text{Mg}^{++}/r\text{Ca}^{++}$	124
16	Relación $r\text{SO}_4^{--}/r\text{Cl}^-$	126
17	Relación $r\text{Na}^+/rr\text{Na}^+ + r\text{Ca}^{++} r\text{Mg}^{++}$	128

Indice de Cuadros

Cuadro No.

1	Resultados de los análisis químicos de las muestras	88
	de aguas recolectadas en la zona de estudio en Ures, Sonora (en Meq. lt).	
2	Cálculos de los porcentajes de los análisis	89
	químicos con respecto al total de las cantidades en reacción por cien (%).	
3	Comparaciones iónicas (fórmulas iónicas), en orden.	90
	decreciente de las cantidades en reacción por cien (%).	
4	Clasificación de aguas de acuerdo a los iones	97
	dominantes.	
5	Clasificación de aguas en la zona de estudio en Ures, . . .	109
	Sonora, de acuerdo al diagrama de Wilcox, (* meq. lt).	

Indice de Tablas

Tabla No.

1	Relación de Muestras	81
2	Características iónicas en las aguas subterráneas. . . .	85
3	Relación entre STD y Conductividad	115
4	Valores de STD	117

I.

INTRODUCCION

La presentación de este trabajo forma parte del proyecto "Estudios Geológico-Geofísicos Aplicados a Problemas de Salinidad en Suelos Agrícolas en el Valle de Ures, Sonora", que está desarrollando el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. Este proyecto se suma a los estudios realizados por otros departamentos de la misma institución, sobre el mismo tema, la salinidad que ha afectado ya aproximadamente mil hectáreas de suelo de uso agrícola, en las inmediaciones de Santiago de Ures, Sonora.

Para la mejor comprensión de los procesos que originan este fenómeno, fue necesario realizar la cartografía a semidetalle de más de la mitad del área, de la cual se tenía escasa información, por lo que, a la vez, se colaboró con el proyecto "Cartografía General del Estado de Sonora", mismo que está siendo llevado a cabo por el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, como una contribución al mayor conocimiento de la geología de nuestro Estado.

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis es tratar de comprender el o los fenómenos que conllevan a la salinización de suelos agrícolas en las cercanías de Santiago de Ures, Sonora.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- + Completar la cartografía geológica del Valle de Ures y zonas aledañas, definir unidades litoestratigráficas y establecer la columna estratigráfica del área.
- + Reconstruir la historia geológica de la región.
- + Analizar los datos hidrogeoquímicos disponibles, y la posible relación entre la salinidad y el marco geológico.

METODO DE TRABAJO



RECOPIACION BIBLIOGRAFICA

Se recabó información de estudios geológicos e hidrogeoquímicos realizados en el área, y de estudios de geología regional efectuados en Sonora y el suroeste de Arizona, especialmente los relacionados con rocas evaporíticas.

FOTOINTERPRETACION

Se elaboró un mapa geológico preliminar escala 1:50,000, en base a fotografía aéreas, a la misma escala, editadas por DETENAL (INEGI). En ese mapa fueron representados los contactos entre las diferentes unidades identificables, los rasgos estructurales más importantes y la hidrografía del área.

TRABAJO DE CAMPO

Se verificó la información contenida en el plano fotogeológico preliminar, describiéndose las características de las diferentes unidades litológicas, colectando muestras de roca, clasificándolas y realizando secciones en zonas clave. Se tomaron 28 muestras de agua para su análisis químico.

TRABAJO DE GABINETE

La información recabada en el campo fue organizada, clasificada e interpretada, elaborándose un mapa geológico escala 1:100,000 y 3 secciones geológicas a la misma escala. Conjuntamente se realizó el tratamiento de los datos obtenidos de los análisis hidrogeoquímicos de las muestras de agua colectadas en el área de estudio, realizados por la Escuela de Agricultura y Ganadería y el Bufete Tecnológico Universitario de la Escuela de Ciencias Químicas de la UNISON.

II. GENERALIDADES

LOCALIZACION

El área de estudio se encuentra en la porción central del Estado de Sonora, a 50 km al noreste de la ciudad de Hermosillo. La población de Ures se localiza en el centro del área, Rayón en la esquina noroeste, y Pueblo de Alamos en la esquina sureste. (Ver Fig. 1 y 2)

El área está delimitada por los paralelos 29°10' y 29°44' de Latitud norte, y por los meridianos 110°08' y 110°37' de Longitud oeste. La superficie es de aproximadamente 3,000 km². Se encuentra localizada en la carta topográfica Hermosillo (H12-8) y la geológica (H12-8) del mismo nombre, a escala 1:250,000; y comprende parte de las cartas topográficas a escala 1:50,000 de Rayón (H12D22), Baviácora (H12D23), Ures (H12D32), Puerta del Sol (H12D33), Las Norias (H12D42) y Mazatán (H12D43). El área cubre parte de los municipios de Ures, Rayón, Aconchi y Baviácora.

VIAS DE ACCESO

El área está muy bien comunicada. Es cortada transversalmente (SE-NE) por la carretera estatal Hermosillo-Agua Prieta. Como caminos vecinales destacan el de Ures-Rayón y el de Ures-Pueblo de Alamos, en muy buenas

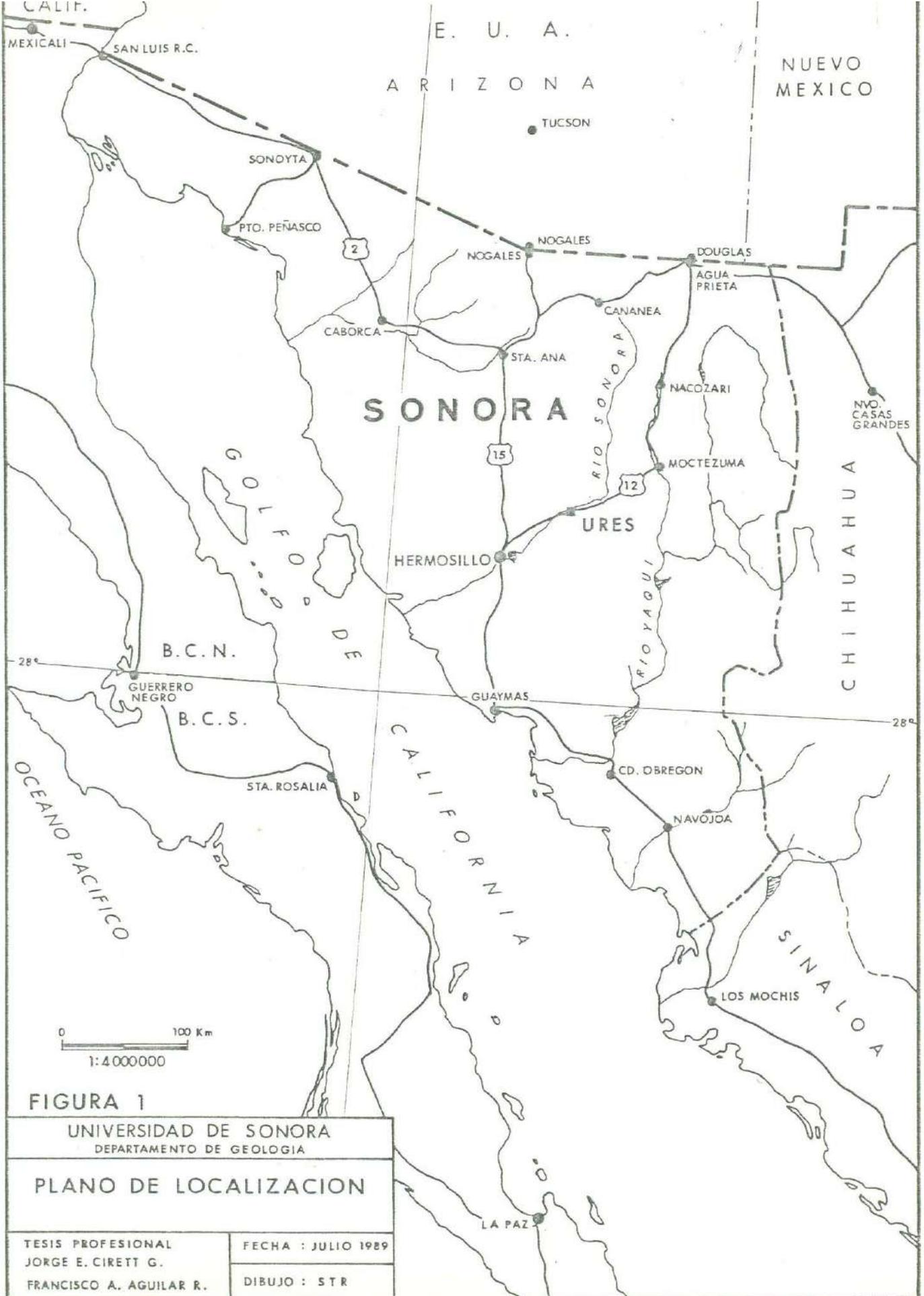


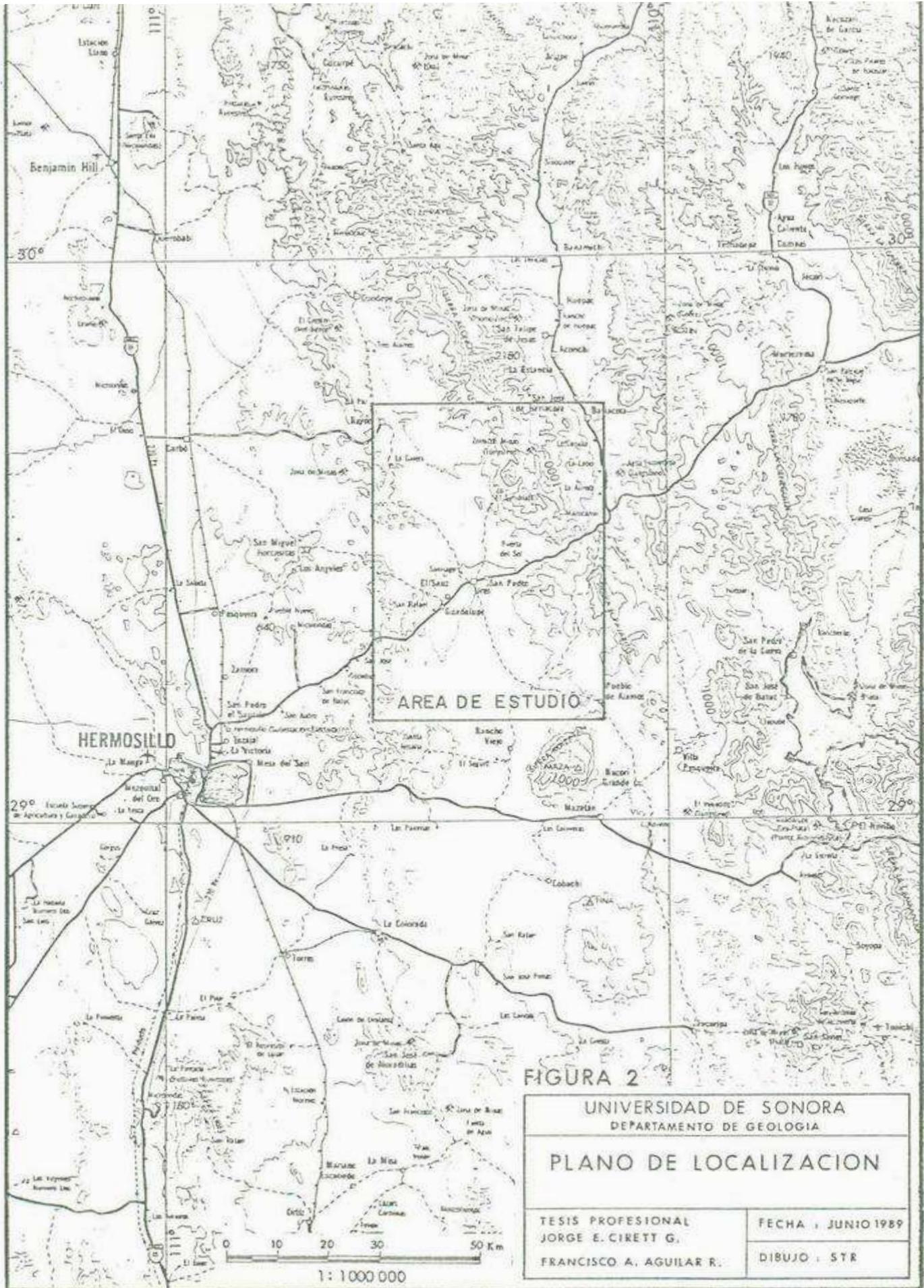
FIGURA 1

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PLANO DE LOCALIZACION

TESIS PROFESIONAL
JORGE E. CIRETT G.
FRANCISCO A. AGUILAR R.

FECHA : JULIO 1989
DIBUJO : STR



condiciones y transitables la mayor parte del tiempo. El resto de terracerías comunican pequeñas poblaciones y ranchos, y por lo general están en buenas condiciones.

CLIMA Y VEGETACION

El clima de la región se clasifica como BSo(h')hw(x') subtipo seco muy cálido, a BS1kw(x') subtipo semiseco templado, según el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por E. García en 1969. La temperatura media anual es de 22.7°C (SPP, 1981), alcanzando más de 40°C en el verano, y con ocasionales temperaturas bajo cero en el invierno (Siendo comunes en la Sierra de Aconchi).

La precipitación pluvial es de 443.5 mm (SPP, 1981), con lluvias torrenciales en verano y lluvias invernales, llamadas equipatas, de menor importancia.

La vegetación consiste principalmente de una variedad de arbustos, muchos de ellos espinosos, siendo comunes las cactáceas. Sólo cambia notablemente en las partes más altas de la Sierra de Aconchi, en el noreste del área, donde la vegetación es de tipo pastizal y bosque de encinos y pinos.

TRABAJOS PREVIOS



A continuación se hace una cronología de los trabajos efectuados dentro del área de estudio o fuera de ella, que proveen de información útil para la mejor comprensión de las características litológicas y estructurales presentes. Se hace énfasis en los eventos del Terciario por considerarse a las rocas de esta edad como más favorables de contener rocas evaporíticas y, por lo tanto, fuentes potenciales de salinidad.

T. Flores (1929) describió algunas de las rocas sedimentarias e ígneas, así como las obras mineras existentes en el Valle de Ures. Además las características climáticas e hidrográficas, extendiéndose en el estudio de "eflorescencias salinas" en los alrededores de Santa Rosalía y áreas adyacentes al Río Sonora, concluyendo que en la primera la sal dominante es el sulfato de sodio, con pequeñas cantidades de cloruro de sodio, carbonato y sulfato de calcio así como nitratos de calcio, magnesio y sodio. Una composición similar presentan las eflorescencias de los alrededores de la Puerta del Sol, aunque en estas es menos aparente la presencia del sulfato de sodio.

Eberly L.D. y Stanley T.B. (1978) encontraron en el SW de Arizona a partir de datos sísmicos y perforación estratigráfica, que varios valles cubiertos por aluvión están subyacidos por más de 3,000 metros de depósitos cenozoicos. Estos sedimentos fueron subdivididos en una Unidad I, más vieja, y una más joven Unidad II, en base a inconformidades regionales o

semiregionales. La superficie entre estas dos unidades es una superficie de discordancia, resultado de un importante período de subsidencia, fallamiento en bloques y erosión, que comenzó en el Mioceno tardío (13 a 12 M.A.). Las dos unidades cenozoicas fueron fechadas y correlacionadas en base a determinaciones radiométricas de las rocas extrusivas intercaladas, en el carácter litológico y con ayuda de la interpretación sísmica. La sedimentación durante el Cenozoico temprano (Unidad I) tomó lugar en anchas depresiones interiores bajo condiciones predominantemente continentales. Esta Unidad I fue dividida a su vez en subunidades, también en base a superficies de disconformidad fácilmente reconocibles. La subunidad media está compuesta predominantemente de rocas volcánicas y menores cantidades de sedimentos piroclásticos intercalados, formados durante el período de levantamiento y volcanismo que Damon (1964) llamó la "Orogenia del Terciario Medio". Durante este episodio tectónico los sedimentos de las subunidades Inferior y Media fueron plegados, fallados, intrusionados por magmas y erosionados. El episodio del Mioceno tardío, de fallamiento en bloques, cambió la geografía del SW de Arizona y le dió una estructura típica de Basin and Range. Los sedimentos de la Unidad II fueron depositados en esos grabens durante el Cenozoico tardío. Sistemas de drenaje exterior se comenzaron a desarrollar hace alrededor de 10.5 a 6 M.A. y evolucionaron progresivamente hasta tener su geomorfología actual.

Scarborough R. y Wilt J.C. (1979), en un estudio enfocado sobre las rocas sedimentarias cenozoicas, anteriores al episodio de Basin and Range en Arizona, y la ocurrencia de uranio en ellas, reconocieron tres grupos.

El Grupo I comprende sedimentos interestratificados con cantidades variables de rocas volcánicas, en la parte SE de Arizona. Asignándole una edad del Oligoceno. El Grupo II presenta sedimentos del Mioceno temprano en la parte central y oeste de Arizona, contemporáneos con grandes cantidades de volcanismo félsico. El Grupo III consiste de sedimentos clásticos gruesos e importantes espesores de rocas volcánicas hacia el centro de Arizona. Le asignan una edad del Mioceno medio. Estos tres grupos fueron afectados posteriormente por el episodio tectónico de Basin and Range.

Peabody C.E. (1979) describe varios techos colgantes de rocas metasedimentarias, que están completamente rodeadas e intrusionadas por las rocas del Terciario inferior del batolito de Aconchi, en la zona de minas de El Jaralito. A estas rocas las considera como de edad Paleozoica.

Shaulot Talmon (1981) describe para el sureste de los Estados Unidos un fallamiento pre-Basin and Range, comprendido entre 24 y 13 M.A. antes del presente, y el episodio de Basin and Range propiamente dicho, que abarca desde hace 13 M.A. hasta 7 M.A. antes del presente. Para el período pre-Basin and Range menciona rotación de bloques más o menos importante, con la actitud de la estratificación en ellos de 30° a 70° grados, mientras que para el período de Basin and Range la rotación de bloques es de poca importancia, con actitudes de 15° a 20°, 30° máximo.

Arriaga H., Peña L. (1983) reportaron en Tubutama una secuencia sedimentaria terciaria muy similar, a la encontrada en el área de estudio de aproximadamente 900 mts. de espesor, a la que asignaron una edad Oligoceno superior-Mioceno superior, por medio de Palinología y fechamiento radiométrica de un basalto almohadillado intercalado en la base de la secuencia.

Radelli L. (1986), en su ensayo sobre el "Basin and Range " describe los macizos de la Puerta del Sol y Mazatán como claros ejemplos de intrusiones múltiples por "Cauldron Subsidence", y propone la existencia de la caldera gigante San Miguel, con ejes de aproximadamente 140 km (N-S) y 65 km (E-W), misma que tendría como borde Este el macizo de Aconchi-Puerta del Sol-Mazatán y como borde Oeste el alineamiento curvilíneo de cuerpos plutónicos de 150 km de largo y 10 km de ancho, entre Hermosillo y Santa Ana.

Castro y Morfin (1988) realizaron la cartografía geológica de la hoja Rayón (H12D22), con énfasis en el área de Cerro de Oro, y definieron el Grupo La Palma y el Grupo Cerro de Oro, e hicieron un análisis estructural de los mismos.

C. González (1989) describe la paleogeografía del Cretácico y define la Formación Las Víboras, la Formación Cerro de Oro, el Grupo Cerro de oro y la Formación la Palma, para el área de Cerro de Oro.

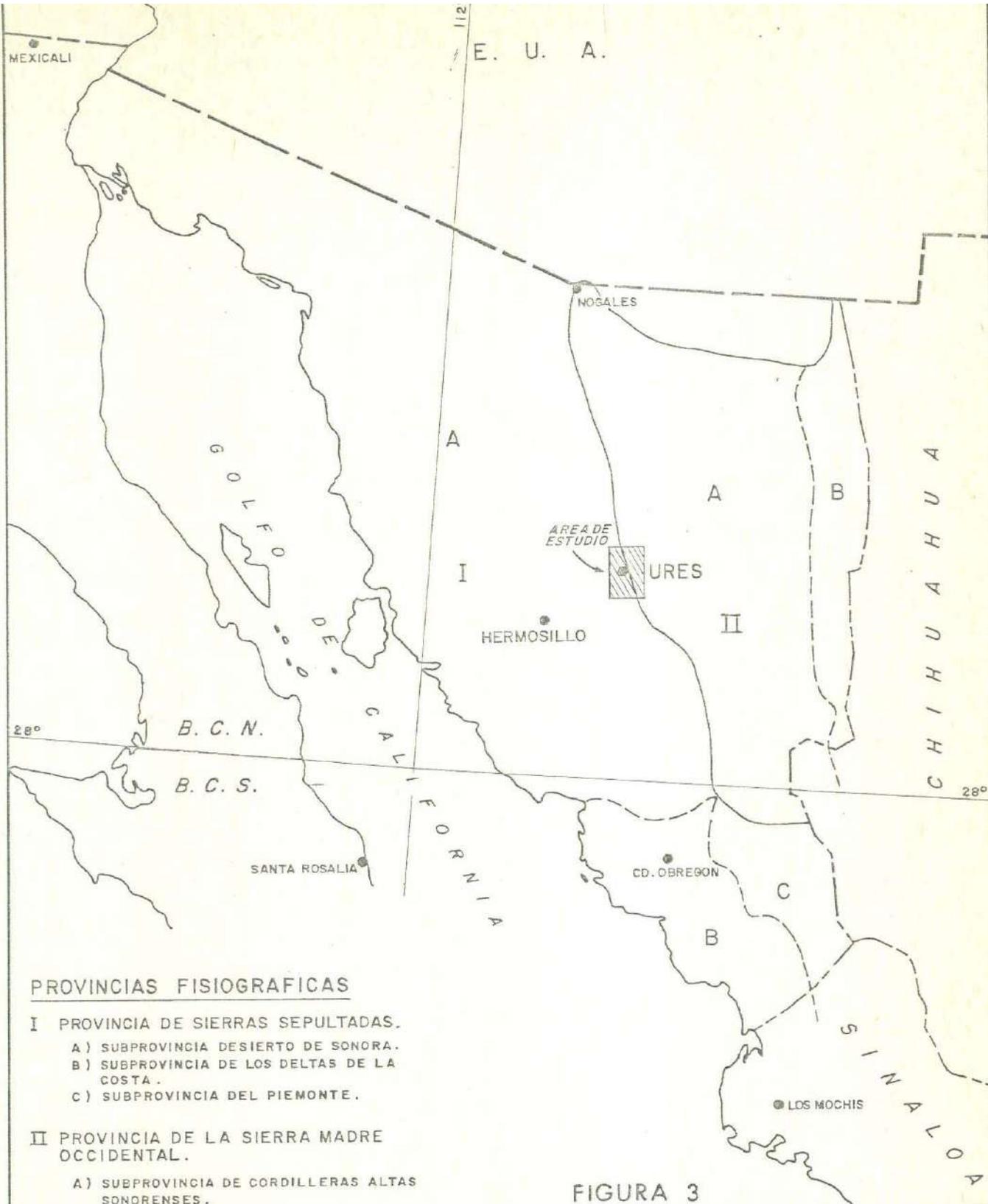
III. FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

De acuerdo con Raiz (1964) el área de estudio se encuentra ubicada fisiográficamente en el límite entre la Provincia de Cordilleras Sepultadas y la Provincia de la Sierra Madre Occidental, más particularmente dentro de la subprovincia del Desierto de Sonora, de la primera citada; y de la subprovincia de Cordilleras Altas Sonorenses, de la segunda. (Ver Fig. 3)

La unidad orográfica más sobresaliente está constituida por parte del Batolito de Aconchi, que limita el Valle de Ures en su porción este, alcanzando alturas de hasta 1,560 metros S.N.M. en el Cerro El Babiso, en la zona de minas de El Jaralito; y de 1,440 metros S.N.M. al sur, en la Sierra El Pajarito. Ligeramente al Sur del área la Sierra de Mazatán alcanza 1,540 metros de altitud.

El valle presenta una altura mínima de 350 metros en San Rafael, y de hasta casi 700 metros en el Rancho El Tépuchi, pero casi toda el área cubierta por gravas semiconsolidadas y aluviones se encuentra a alturas menores de 500 metros.

En la margen oeste destaca: al norte los cerros cercanos a la ranchería La Palma, con poco más de 800 metros S.N.M., constituidos por rocas sedimentarias detríticas; al sur destacan los cerros San Cosme y San Damián, tanto por su altura, cercana a los 800 metros S.N.M., como por su característica forma de conos invertidos truncados.



PROVINCIAS FISIOGRAFICAS

I PROVINCIA DE SIERRAS SEPULTADAS.

- A) SUBPROVINCIA DESIERTO DE SONORA.
- B) SUBPROVINCIA DE LOS DELTAS DE LA COSTA.
- C) SUBPROVINCIA DEL PIEMONTE.

II PROVINCIA DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

- A) SUBPROVINCIA DE CORDILLERAS ALTAS SONDRENSES.
- B) MESETA DE LAVA (RIOLITICA).

(SEGUN RAIZ, 1964)

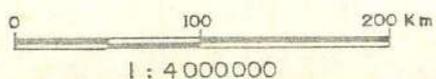


FIGURA 3

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
PLANO DE PROVINCIAS FISIOGRAFICAS	
TESIS PROFESIONAL JORGE E. CIRETT G.	FECHA : JULIO 1989
FRANCISCO A. AGUILAR R.	DIBUJO : STR

IV. GEOLOGIA REGIONAL

ESTRATIGRAFIA

A) ROCAS SEDIMENTARIAS

FORMACION LAS VIBORAS

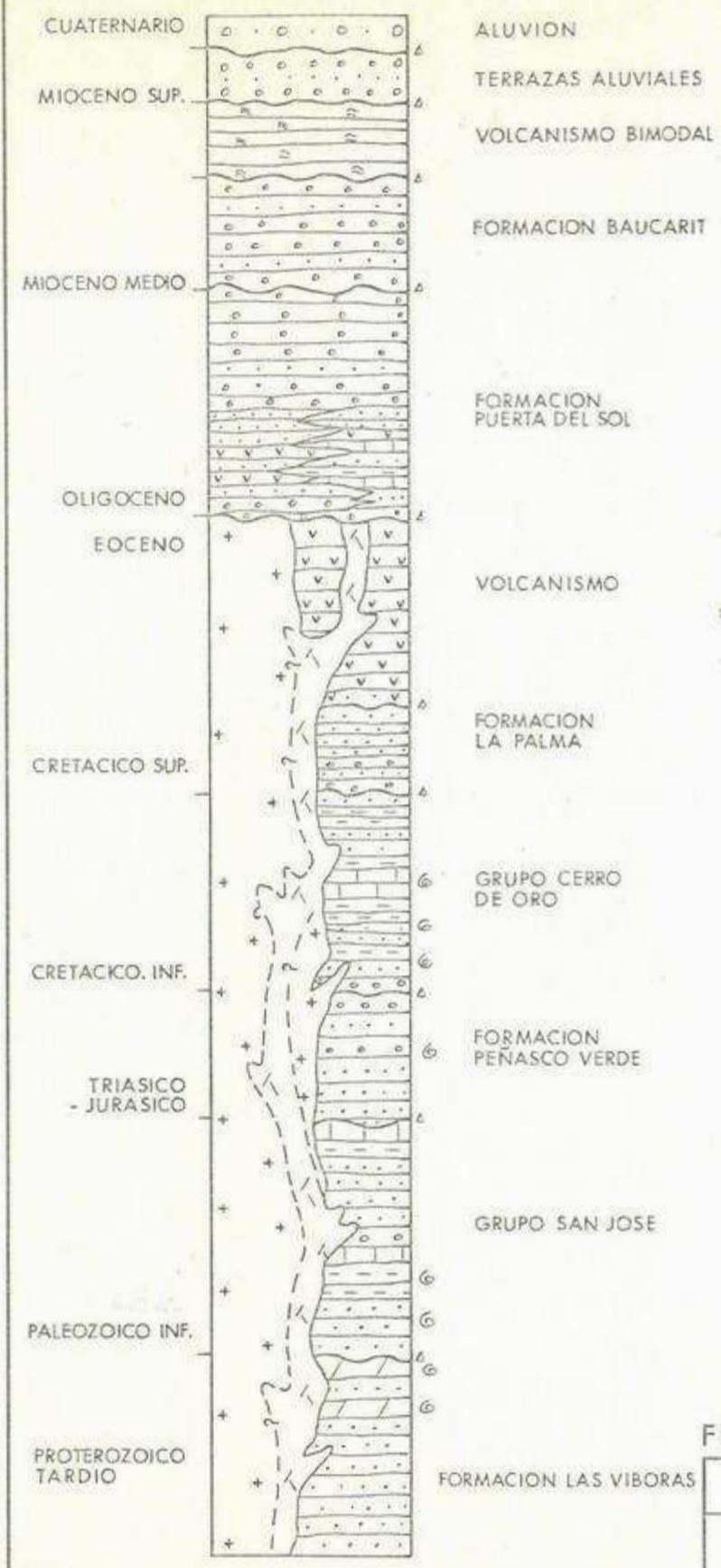
Definición

Definido originalmente por Carlos González (1988) como Grupo Las Víboras, dividiéndolo en un miembro inferior y otro superior. Fue redefinido por Castro y Morfin (1988) como Grupo La Palma, dividiéndolo en tres unidades litoestratigráficas: unidad El Tápiro, unidad El Alamo y unidad Año Nuevo y redefinidos nuevamente por González (1989) como Formación Las Víboras, dividiendo a ésta en un miembro inferior y otro superior. Para los efectos de este trabajo se utilizará ésta última nomenclatura.

Litología

Es difícil hacer correlaciones entre las unidades nombradas por González y las nombradas por Castro y Morfín, pero en base a las descripciones litológicas, y a la distribución en localidades comunes, se puede sacar en claro que la unidad Año Nuevo corresponde al miembro





EXPLICACION

- ALUVION
- TERRAZAS ALUVIALES
- VOLCANISMO BIMODAL
- CONGLOMERADO
- ARENISCAS U ORTOCUARCITAS
- LUTITAS O LIMOLITAS
- CALIZAS
- DOLOMIAS
- VOLCANISMO
- INTRUSIVO GRANODIORITICO
- PORFIDO MONZONITICO
- FOSILES
- DISCORDANCIA

FIGURA 4

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
COLUMNA ESTRATIGRAFICA ESQUEMATICA DEL VALLE DE URES, SONORA.	
TESIS PROFESIONAL JORGE E. CIRETT G. FRANCISCO A. AGUILAR E.	FECHA: JULIO 1989 DIBUJO: STR

superior y la unidad El Alamo y El Tápiro al miembro inferior de la Formación Las Víboras.

"El miembro inferior está formado predominantemente por arenisca y en menor proporción por lodolita y conglomerado. Composicionalmente las areniscas varían de cuarzarenitas a subarcosas. El Miembro Superior está formado por dolomías de color gris y amarillo, en capas delgadas a medianas presenta algunos niveles de dolomías arenosas con diastratificación plana y son abundantes las capas con laminaciones delgadas formadas por estromatolitos laminares, mientras que en otros niveles ocurren capas formadas por estromatolitos columnares de hasta 30 cm de alto y algunos niveles oncolíticos". Contiene además intercalaciones de arenisca en capas delgadas y en horizontes de hasta 50 cms de espesor. Carlos González (1939) midió 790 mts para parte del Miembro Inferior de la formación en el Cerro El Cobrizo, mientras que para el Miembro Superior midió un mínimo de 290 m en el Cerro Las Víboras. El espesor total se desconoce, pero el mismo autor lo estima mayor a 2000 mts.

Distribución

La Formación Las Víboras aflora en una pequeña porción del noroeste del área, principalmente en las inmediaciones de las rancherías de La Palma y el Ranchito de Aguilar, a unos 10 km al sur de Rayón. Se caracteriza por una topografía alta y abrupta, y es cortada por el Río San Miguel. Otro afloramiento de menor importancia se observa al noreste, en el Cerro La Mora.

Relaciones Estratigráficas

Se desconoce el límite inferior del Miembro Inferior, el contacto superior de éste miembro es transicional con el Miembro Superior, y el límite superior de este último es una superficie de erosión. Como conjunto la Formación Las Víboras se encuentra sobreyacida en leve discordancia angular por la Formación Cerro de Oro, en discordancia por las rocas volcánicas del Cretácico superior-Terciario inferior e intrusionadas por un cuerpo granítico del Terciario inferior.

Edad y Correlación

La edad de estos sedimentos no puede ser establecida con precisión por la ausencia de fósiles diagnóstico. Sin embargo por su posición estratigráfica, litología y secuencia litoestratigráfica González (1989) — considera la Formación Las Víboras como litocorrelacionable con las Formaciones Wood Canyon, Cuarcita Zabriskie y Carrara del Precámbrico tardío-Cámbrico temprano del SE de California y sur de Nevada, así como con las formaciones Puerto Blanco, Cuarcita proveedora, Buelna, Cerro Prieto y Arroyos de la región de Caborca, que son correlacionables con las anteriormente mencionadas. En base a este criterio estableció una probable edad Precámbrico tardío-Cámbrico temprano para la formación las Víboras.

Castro y Morfín (1988) le asignaron una edad del Precámbrico tardío en base a la presencia de estromatolitos columnares y laminares y a la

litología, relacionando el Grupo La Palma con las formaciones Gamuza, Papalote y Cuarcita Pitiquito, descritas por Stewart (1984) en Caborca. Además mencionan que en las cercanías de Opodepe las unidades El Tápiro y El Alamo descansan en discordancia sobre un basamento Precámbrico ígneo-metamórfico, y que petrográficamente, la mayor parte de estos sedimentos son derivados de rocas ígneas y metamórficas que pueden representar las consecuencias de la erosión del basamento Precámbrico.

Definición

Se designa con este nombre a una potente secuencia detrítica-carbonatada que aflora en las inmediaciones del poblado de San José de Gracia. Fue posible identificar dentro de estos sedimentos las formaciones Cuarcita Proveedora, Buelna y Cerro Prieto; definidas por Cooper y Arellano (1952) para afloramientos en el Cerro de La Proveedora, Cerro de Buelna y Cerro Prieto, respectivamente, en el área de Caborca. Consistente la primera en un paquete de ortocuarcitas, localmente con skolitos; la segunda de calizas fosilíferas, calizas oolíticas, lutitas y limolitas calcáreas, algunas de estas últimas fosilíferas también; y la tercera es un paquete de calizas oscuras. En el resto de la secuencia no fue posible establecer relaciones entre las diferentes litologías, entre las que se encuentran dolomías grises, dolomías con bandas de pedernal, conglomerados con lentes de ortocuarcitas, areniscas intercaladas con lutitas, calizas arenosas y ortocuarcitas. Se decidió agrupar estos sedimentos por motivo de la escala utilizada en la cartografía.

Litología

Debido al intenso tectonismo, a la intrusión de un gran stock granítico y a las limitaciones de este estudio, no fue posible armar una secuencia completa y coherente entre sí. Sin embargo la identificación de

tres de sus miembros es la base para trabajos futuros.

La Cuarcita Proveedora está formada por areniscas ortocuarcíticas de color gris claro, grano fino a medio y localmente con perforaciones de gusanos, llamados skolitos. Hacia la cima el color de las areniscas es de tonos más oscuros. Megascópicamente sólo se observaron granos de cuarzo. Localmente se observan laminaciones y estratificación cruzada. Su espesor es de por lo menos 100 mts.

La formación Buelna consiste de alternancias de calizas, lutitas y limolitas. Las calizas son más abundantes en la mitad inferior, siendo casi inexistentes en la superior. De la base a la cima aflora una caliza oolítica de color gris, con intemperismo karst débil y oolitos menores de 1mm; le siguen calizas fosilíferas de color gris verdoso, conteniendo salterellas, y localmente girvanellas, seguidas de lutitas y areniscas de grano fino de color rojizo, una zona sin alforamientos y a continuación intercalaciones de areniscas de grano fino, lutitas, limolitas, lutitas calcáreas, limolitas calcáreas y delgados espesores de calizas. Dominan los colores grises, amarillentos y rojizos. Hacia la cima predominan limolitas color café rosáceo. En las limolitas y lutitas se encuentran restos de diminutos trilobites y braquiópodos. A. Palmer (comunicación personal, 1989) identificó entre estos un agnóstido indeterminado, un trilobite ptychoparioide simple y un Oryctocephalus cf. Reynoldsi. El espesor de ésta formación es de por lo menos 50 mts.

La formación Cerro Prieto consiste de un paquete, de por lo menos 25 mts., de calizas laminares de color gris oscuro, localmente masivas e intemperismo kárstico bien definido. No se encontraron fósiles en ésta.

A continuación se mencionan los sedimentos a los que no fue posible determinar la posición dentro de la secuencia:

Una sucesión de areniscas masivas, ortocuarcitas, areniscas intercaladas con lutitas y un paquete de calizas laminadas de color gris. No se determinó cual es la base y cual la cima por falta de evidencias. Las areniscas masivas son de grano fino a grueso, de color rojizo a café rojizo, tanto en superficie fresca como en superficie intemperizada. Le siguen areniscas masivas de grano fino, de color gris oscuro. Las ortocuarcitas son muy puras, masivas, de color gris claro y grano fino a medio. Las areniscas y lutitas interestratificadas se encuentran muy afectadas por metamorfismo de contacto. Las calizas son en su mayor parte laminares, y están recristalizadas. Fotogeológicamente se le calculó 600m de espesor. A esta sucesión de sedimentos no se le dió nombre por desconocer si es equivalente, al menos en parte, a las formaciones antes descritas.

Aparte de esos sedimentos afloran también dolomías y conglomerados. Las dolomías aparentan estar asociadas a un gran paquete de ortocuarcitas, posiblemente la Cuarcita Proveedora, pero no se encontró una relación clara. Estas dolomías son de color gris oscuro a gris ocre en superficie

intemperizada y gris a gris rosado en superficie fresca. Localmente se localizó una dolomía blanca, con lentes de pedernal; el intemperismo tipo karst que presenta es débil. Los conglomerados varían en la composición de sus fragmentos, desde completamente detríticos a totalmente carbonatados, predominando los extremos. La matriz de los primeros es arenosa y tienen intercalados lentes ortocuarcíticos, en los segundos, la matriz es areno-limosa, ligeramente carbonatada. Generalmente los clastos son menores de 10 cm y la textura es sostenida.

Distribución

Este grupo de sedimentos aflora principalmente en las inmediaciones del Rancho El Placer y de San José de Gracia. La Cuarcita Proveedora fue identificada en afloramientos en la loma El Chihuahuíta, al este de San José de Gracia, la formación Buelna puede observarse al pie de la Loma El Chihuahuíta, en el camino que lleva al Rancho El Yeso, y la formación Cerro Prieto al sur de este camino.

El afloramiento en las cercanías del rancho El Placer es el más extenso, la mayor parte de las rocas descritas se encuentran ahí. Aunque las formaciones Cuarcita Proveedora, Buelna y Cerro Prieto no fueron plenamente identificadas entre esos sedimentos, un estudio más detallado del área seguramente lo haría, pues una gran parte de los sedimentos expuestos son de litologías similares.

Relaciones Estratigráficas

Tanto el contacto inferior como el superior del grupo se desconocen. Dentro del grupo se desconoce la base de la cuarcita Proveedora, el contacto superior es transicional con la base de la formación Buelna, y el contacto superior de ésta es la base de la formación Cerro Prieto, cuyo contacto superior se desconoce. En conjunto estos sedimentos están intrusionados por las rocas granodioríticas del Terciario inferior, y cubiertas discordantemente por las rocas volcánicas del Cretácico superior-Terciario inferior, por la formación Báucarit y por el volcanismo del Terciario superior.

Edad y Correlación

La formación Buelna presenta hacia la base conchas cónicas (salterellas) y hacia la parte media trilobites Oryctocephalus cf. Reynoldsi, un agnóstido indeterminado y trilobites ptychoparioides. El primero se encuentra en la parte inferior del Cámbrico medio, el segundo sugiere la parte media del Cámbrico medio y el tercero es característico de la parte inferior del Cámbrico medio, pero es difícil de identificar satisfactoriamente. Todo esto nos sugiere que ésta formación se depositó entre la parte superior del Cámbrico inferior y la porción inferior a media del Cámbrico medio. Por simple correlación estratigráfica podemos entonces afirmar que la Cuarcita Proveedora se depositó durante el Cámbrico inferior y la formación Cerro Prieto en el Cámbrico medio.

Los sedimentos de éste grupo pertenecen con certeza, al Paleozoico inferior, como lo indica su contenido faunístico y su correlación estratigráfica con los sedimentos del Cámbrico inferior descritos por Stewart (1984) en el área de Caborca, y por Stewart et al (1988) en el área de Sierra de López al noroeste de Hermosillo. Sin embargo no es posible determinar la edad del resto de estos sedimentos mientras no se haga un estudio más detallado.

FORMACION PEÑASCO VERDE

Definición

Se designa con este nombre a una secuencia detrítica, compuesta por ortocuarcitas, conglomerados y areniscas; localmente interestratificados. Dificultades legales para el acceso al lugar donde aflora impidieron hacer un estudio más detallado. Por lo cual no se recorrió la secuencia completa.

Litología

Si la secuencia no está invertida, de la base a la cima hay una secuencia de areniscas ortocuarcíticas de color gris rosado a blanco, de grano fino a medio y estratificación fina a mediana. Sobre estas ortocuarcitas descansan conglomerados con fragmentos principalmente calcáreos embebidos en una matriz arenolimososa de color rojiza. Son de textura sostenida, y los fragmentos están constituidos en su mayoría por calizas, calizas dolomíticas y dolomías, de muy diversos colores y texturas, alcanzando tamaños de hasta 10 cm. Algunos de los fragmentos de calizas presentan fusulínidos. Los fragmentos de areniscas y ortocuarcitas son menores de 3 cm, presentan diversas texturas y colores y representan menos del 5% de los fragmentos. Las areniscas son de grano fino y de colores rojizos, tanto en superficie fresca como intemperizada, y compuesta mayormente por granos de cuarzo. En fotografía aérea se le midió un

espesor de por lo menos 250 mts. a la secuencia completa, misma que estructuralmente forma un sinclinal con eje NNW-SSE.

Distribución

Esta unidad se observa al sureste del potrero El Peñasco Verde, dentro de el rancho El Gavilán donde forma un sinclinal buzante con rumbo NNW-SSE. Sus afloramientos presentan topografía muy abrupta, lo que los distingue de las rocas granodioríticas del Terciario inferior y las rocas volcánicas adyacentes.

Relaciones Estratigráficas

No se observó el contacto inferior de la unidad, están sobreyacidas por rocas volcánicas del Cretácico superior-Terciario inferior e intrusadas por las rocas granodioríticas del Terciario inferior.

Edad y Correlación

Es difícil asignarle una edad a esta formación con los datos disponibles hasta el momento. La presencia de fusulínidos en fragmentos dentro de los conglomerados nos indican un origen Pos-Pérmico, y el estilo de deformación que son Pre-Cretácico superior. Sin embargo la litología guarda poca semejanza con la sedimentación del Cretácico, lo que nos conduce a suponer que su depositación se realizó entre el Triásico y el

Jurásico. La correlación con alguna de las formaciones del Grupo Barranca, las rocas del Triásico superior de la Sierra de la Flojera u otros sedimentos de esas edades es incierta mientras no se obtenga más información de campo.

GRUPO CERRO DE ORO Y FORMACION LA PALMA

Definición

Carlos González (1988) definió el Grupo Cerro de Oro y la formación Cerro de Oro e identificó las formaciones Morita, Caliza Mural y Cintura, del Grupo Bisbee, que sobreyacen a la primera formación mencionada. Además definió la formación La Palma como sobreyacente en discordancia al Grupo Cerro de Oro. Castro y Morfín (1988) definen para los mismos sedimentos el Grupo Cerro de Oro, como consistente de tres formaciones: la formación Los Tubos, formación Caliza Antúnez y formación Los Valles, de la base a la cima respectivamente. Para efectos de este trabajo se utiliza la definición de González.

Litología

González (1988) midió 1,020 metros de espesor para el Grupo Cerro de Oro: "La formación Cerro de Oro presenta en su base un conglomerado con cantos de areniscas y dolomías provenientes del Grupo Las Víboras, el cual hacia arriba en la columna de sedimentos (105-145 mts) da paso a una sedimentación carbonatada y terrígena de ambiente marino somero con abundante fauna de equinodermos, pelecípodos, corales coloniales, gasterópodos y escasas amonitas; en su cima se desarrolla un horizonte arrecifal de corales, estromatopóridos? y braquiópodos, el cual lateralmente pasa a facies lagunares de calizas arcillosas con orbitolinas

y gasterópodos. Su cima es una superficie de erosión sobre la que se desarrolla un conglomerado que aparece en la base de la Formación Morita, la cual es de naturaleza terrígena y de ambiente fluvial distal. La Morita pasa transicionalmente hacia arriba a la Caliza Mural, formada por varios horizontes arrecifales superpuestos de corales coloniales, estromatopóridos, rudistas y separados por paquetes de calizas arcillosas, coquinas de ostras o de gasterópodos, areniscas de grano muy fino y lodolitas, la Formación Cintura que sobreyace transicionalmente a la Mural está formada por areniscas y lodolitas de origen fluvial distal y su cima no se conoce por estar cubierta por rocas volcánicas del Terciario."

La formación La Palma sobreyace a la formación Cerro de Oro en discordancia paralela, y sus conglomerados contienen cantos de calizas con orbitolinas "y rudistas provenientes de la Caliza Mural. Esta formación de más de 2.5km de espesor está constituida por conglomerados, areniscas y lodolitas de ambiente fluvial, y contiene una fuerte influencia de volcanismo (fragmentos de rocas volcánicas y plagioclasas), indicando sus areniscas una proveniencia de arco magmático. . ." González (1988).

Distribución

Para este estudio se utilizaron los nombres de Grupo Cerro de Oro y Formación La Palma, definidos por González (1988). Se tomaron como una sola unidad para simplificar la cartografía. Afloran en la parte noroeste del área de estudio, en las cercanías del Ranchito de Aguilar, y se extienden fuera del área hasta Cerro de Oro. No aflora toda la secuencia dentro de los límites del área.

Relaciones Estratigráficas

La formación Cerro de Oro descansa en discordancia levemente angular sobre la formación Las Víboras, y es sobreyacida en discordancia paralela por las formaciones Morita, Caliza Mural y Cintura. Pasando la formación Morita transicionalmente hacia arriba a la Caliza Mural y ésta a su vez sobreyacida transicionalmente por la formación Cintura, de la cual no se conoce la cima por estar cubierta por rocas volcánicas. La formación La Palma sobreyace en discordancia paralela a la formación Cerro de Oro, no se conoce su cima. (González 1988).

Edad y Correlación

Por el contenido faunístico fósil, González (1988) atribuye el Grupo Cerro de Oro al Cretácico inferior; y la formación La Palma al Cretácico superior, por ser discordante sobre la formación Cerro de Oro, al tener

clastos provenientes de la Caliza Mural y por su litología. El mismo autor correlaciona al Grupo Cerro de Oro con las formaciones Morita, Caliza Mural y Cintura del Grupo Bisbee.

En base al contenido fósil de las tres formaciones, Castro y Morfin (1988) asignaron al Cretácico inferior la secuencia de el Grupo Cerro de Oro, definido por ellos mismos, y que incluye el Grupo Cerro de Oro y formación La Palma definidos por González (1988). Y sugieren la correlación de la formación Los Tubos con la base de la formación Los Valles del Grupo Ceja, en el área de Arizpe, Sonora descrita por González (1978) y con la formación Morita del Grupo Bisbee. Correlacionan la formación Caliza Antúnez con la formación Mural y la formación Los Valles con la formación Cintura y la formación Mesa Quemada en Arizpe descrita por González (1978).

FORMACION PUERTA DEL SOL

Definición

El término "Formación Puerta del Sol" se asigna a una secuencia detrítica continental de sedimentos rojos constituida principalmente por areniscas conglomeráticas y conglomerados, de color rojizo, y cuyos afloramientos típicos se localizan en las inmediaciones del poblado de La Puerta del Sol. Presenta facies lacustres de grano más fino y colores café claro, con sedimentos carbonatados interestratificados. Se observan fuertes cambios laterales de facies y tiene intercalaciones de rocas volcánicas. Estos sedimentos están moderadamente basculados y ligeramente fallados y deformados.

Litología

La siguientes es la descripción de una sección realizada entre los ranchos El Bamuco y Los Hornos.

Debido a los fuertes cambios laterales de facies, es difícil hacer la descripción de la unidad como una columna. Las siguientes son las características de estas rocas no necesariamente en orden estratigráfico.

La parte inferior de la secuencia se caracteriza por sus abruptos cambios de facies, está compuesta principalmente por areniscas

conglomeráticas y conglomerados de color rojizo claro, que gradúan lateralmente a sedimentos lacustres de grano más fino y color café claro, incluyendo delgados estratos de calizas y ocasionales rocas volcánicas interestratificadas.

Principalmente son areniscas conglomeráticas y delgadas intercalaciones de conglomerados, ambos semiconsolidados presentando una matriz areno-limosa de color rojizo. Los fragmentos son en su mayoría de rocas volcánicas, de muy variada composición y textura. Menos del 5% de los fragmentos son de composición granodiorítica o de origen sedimentario. Las areniscas de color café claro son de grano más fino, y su grado de consolidación es menor que las anteriores. El espesor de los estratos va de 2 a 10 cms para las areniscas, y hasta 20 ó 50 cms para los conglomerados. Como estructuras primarias se presentan huellas de oleaje y horadaciones de gusanos. Localmente hay estratos de boratos impuros, menores de 10 cms. Asociadas a las areniscas color café claro hay calizas, éstas son de color gris claro a gris blancuzco, con intemperismo kárstico muy débil o inexistente, fuertemente efervescentes al ácido y raramente superando los 50 cms de espesor. Por lo menos hay un estrato de caliza asociado a sílice amorfo de origen posiblemente epitermal, depositado como delgadas laminaciones con caliza u otro sedimento intercalado, estas laminaciones presentan estratificación convoluta, seguramente por el peso de los sedimentos que continuaron acumulándose antes de la litificación. Además se observan estructuras silíceas que parecen ser relictos de fuentes de aguas termales.

Se observaron tres cuerpos de rocas volcánicas interestratificados. Una andesita de color gris, porfídica, con fenocristales de plagioclasas y matriz afanítica, textura fluidal. Una andesita de color gris, porfídica, con matriz afanítica y fenocristales de plagioclasas y anfíboles. Estas dos rocas afloran como lentes de aproximadamente 30 metros de espesor y con una extensión lateral de aproximadamente 1,600 mts. La tercer roca volcánica observada es un basalto, de 10 a 20 mts de espesor, y se puede seguir por aproximadamente 3 km. Es de color gris oscuro y afanítico. Localmente presenta amígdalas, rellenas de cuarzo de color verde. No se identificaron estructuras almohadilladas. Se observaron además capas centimétricas de tobas zeolitizadas, de color blanco, y es posible que existan más capas de rocas volcánicas, no localizadas aún.

La parte superior de la sección está constituida por un conglomerado polimíctico, bien consolidado, de color rojo. La composición de los fragmentos es, en su mayor parte, de rocas volcánicas, y el resto (~10%) de granodioritas, cuarcitas y calizas. La matriz es areno-limosa de color rojo. La estratificación es gruesa, con capas arenosas delgadas. El tamaño máximo de los fragmentos oscila entre 30 y 50 cms, aunque los hay de hasta un metro.

Medido en fotografía aérea escala 1:50,000, el espesor de los sedimentos, entre el rancho El Bamuco y el rancho Los Hornos, es de 1,700 mts de los cuales 850 metros corresponden al conglomerado de la parte superior y 850 metros a la parte inferior. Dados los bruscos cambios de

facies encontrados en la secuencia, y su origen continental, es posible suponer que el espesor de la secuencia debe variar mucho de una localidad a otra.

La unidad está afectada por fallamiento normal, con desplazamientos centimétricos a métricos, con excepción de los contactos por falla con las rocas volcánicas del Cretácico superior y el intrusivo granodiorítico, donde presenta fallamiento más intenso y pliegues de arrastre. En fotografía aérea escala 1:50,000 es posible observar un ligero plegamiento de estos sedimentos, pero no se ahondó en la geología estructural. En general, las actitudes de la secuencia están comprendidas entre 30° y 60° grados, generalmente hacia el este.

Distribución

Se encuentra en la parte este-sureste del área, en extensos afloramientos parcialmente cubiertos por sedimentos más jóvenes. Esto, y su fácil erosión, restringen los afloramientos a los cortes de arroyos y cañadas.

Las facies conglomeráticas rojizas son las más abundantes, destacando la Loma La Chiche, al norte de La Puerta del Sol, y los afloramientos al oeste y al sur del rancho La Salada, y al sur del rancho Los Hornos. Las facies lacustres afloran mejor entre el rancho El Bamuco y el rancho Los Hornos. Las rocas andesíticas forman las lomas Piedras de Lumbre y Los

Diques, cercanas al rancho La Pitahaya. La capa basáltica se encuentra intercalada en los sedimentos lacustres al norte de El Bamuco.

Relaciones Estratigráficas

No se observó ni el contacto inferior ni el superior de la secuencia. Tentativamente se consideran discordantes sobre las rocas volcánicas del Cretácico superior-Terciario inferior, y como posterior al intrusivo granodiorítico y pórfidos monzoníticos. Están sobreyacidos casi seguramente en discordancia angular por la Formación Báucarit. Esta posible relación puede observarse al sureste de San Pedro.

Edad y Correlación

Son escasos los estudios que se han realizado en Sonora sobre las rocas sedimentarias terciarias y la existencia de varias cuencas continentales pequeñas con condiciones variables de depositación hacen difíciles las correlaciones. Sin embargo, es posible hacer algunas correlaciones tentativas, como la subunidad inferior de la unidad I de Eberly y Stanley (1978) en el SW de Arizona; con el Grupo I de Scarborough y Wilt (1979) en el centro y SE de Arizona, en base a similitudes litológicas y grado de deformación. La formación Cocóspera definida por Gilmont (1978) y la secuencia de sedimentos terciarios reportados por Arriaga H. y Peña L. (1983) presentan características similares, principalmente la de Tubutama, pero su correlación es incierta.

Además, por su grado de basculamiento (entre 30° y 60°) se puede decir que fue afectada por el evento de fallamiento pre-Basin and Range descrito por Talmon (1981). Por todo lo anterior, sólo es posible postular que la depositación de la unidad ocurrió probablemente entre el Oligoceno tardío y el Mioceno temprano o medio.

CUAT. PLEISTOCENO 1.6	PHOENIX-TUCSON, AZ. EVERLY Y STANLEY (1978)	TUCSON, AZ. SCARBOROUGH (1979)	TUBUTAMA SON. ARRIAGA Y PEÑA (1983)	IMURIS SON. GILMONT N.L. (1978)	URES SON. J.C. Y A.A. (1989)	MOCTEZUMA SON. COACHEME J.J. (1985)	YECORA-MAICOBABA SON. COACHEME J.J. (1985)
5.3	GRAVAS DEL RIO GILA	TERRAZ Y ABANICOS	CONGLOMERADOS	FM. BAUCARIT	TERRAZAS	BASALTOS	X
	SEDIMENTOS GROSOS Y VOLCANICAS SUBORD.	SEDIMENTOS RE-LLENANDO CUEN-CAS CREADAS POR EL EVENTO DE BASIN AND RANGE	FM. BAUCARIT	FM. BAUCARIT		SEDIMENTOS GROSOS NO CONSOLIDADOS	
11.2	UNIDAD II	ASOCIACION COM- PLEJA DE PIROCLAS-TICOS IGNI-MBRIT-ICOS, GROSAS SECUENCIAS DE CLASTICOS GROSOS DEPOSITADOS EN CUENCAS TECTONICAS	CONGLOMERADO ROJO	FM. COCOSPORA	VOLC. BIMODAL	LIMOS Y LENTES DE YESO NO CONSOLIDADOS	FM. BAUCARIT
	CLASTICOS GROSOS Y FINOS Y ROCAS VOL.						
16.6	UNIDAD I	RIOLITAS IGNI-MBRITAS ANDESITAS TRAJUITAS LATITAS	ARENISCA DE GRANO GUESO, CALIZAS, LUTITAS Y ARENIS-CAS, CALCAREAS BORATOS	X	?	FM. BAUCARIT	FM. BAUCARIT
	TOBAS, BRECHAS Y COLADAS RIOLITICAS Y ANDESITI-CAS						
23.7	UNIDAD I	CAPAS ROJAS Y FACIES LACUSTRES ROCAS VOLCANICAS SUBORD.	BASALTO	X	?	FM. BAUCARIT	SERIE BIMODAL
30	UNIDAD I	INFERIOR	ARENISCA G. FINO	X	?	FM. PUERTA DEL SOL	IGNIMBRITAS Y ANDESITAS
36.6	UNIDAD I	INFERIOR	ANDESITAS Y RIOLITAS	X	?	FM. PUERTA DEL SOL	VOLCANO SEDI-MENTARIA
40	UNIDAD I	INFERIOR		X	?	FM. PUERTA DEL SOL	VOLCANO SEDI-MENTARIA
57	UNIDAD I	INFERIOR		X	?	FM. PUERTA DEL SOL	VOLCANO SEDI-MENTARIA
57.8	UNIDAD I	INFERIOR		X	?	FM. PUERTA DEL SOL	VOLCANO SEDI-MENTARIA
ROCAS PRE-EOCENICAS	BASE DE LA DEPO-SITACION TERCARIA	BASE DE LA DEPO-SITACION TERCARIA	BASE DE LA DEPO-SITACION TERCARIA	BASE DE LA DEPO-SITACION TERCARIA	BASE DE LA DEPO-SITACION TERCARIA	BASE DE LA DEPO-SITACION TERCARIA	BASE DE LA DEPO-SITACION TERCARIA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA DEL TERCARIO VOLCANICAMENTE SEDIMENTARIO EN ARIZONA Y SONORA

TESIS PROFESIONAL

JOSGE E. CIRETT G.

FRANCISCO A. AGUILAR R.

FECHA: JULIO 198

DIBUJO: 51R

FIGURA 5

FORMACION BAUCARIT

Definición

Fue nombrada por Dumble (1900) como División Báucari, para una secuencia detrítica de origen continental, compuesta de areniscas, lutitas y conglomerados no bien consolidados, estratificación extremadamente uniforme y esporádicos flujos de basaltos.

King (1939) lo redefine, elevándolo al rango de Formación, con el nombre de Báucarit.

Distribución

Aflora en ambos márgenes del Valle de Ures, al este en los Ranchos El Sunibiate y El Borrego (al norte de La Puerta del Sol), sobre la carretera Ures-Mazocahui, entre San Pedro y La Puerta del Sol, y al sureste de San Pedro. Al oeste aparece en las terracerías hacia el Represo de Islas, el Rancho El Placer y el Rancho Los Cochis. Al sur del Río Sonora aparece esporádicamente cubriendo áreas no cartografiables a la escala utilizada, junto con las rocas del Cretácico superior-Terciario inferior. Al este de San José de Gracia, se presenta tanto al norte como al sur, hasta el Rancho Los Diques en el norte y el Rancho el Yeso en el sur.

Litología y Espesor

Consiste de interestratificaciones de conglomerados y areniscas, los conglomerados son polimícticos mal clasificados, con fragmentos subangulosos a subredondeados. En general los fragmentos son principalmente rocas volcánicas y en menor cantidad de rocas intrusivas, cuarcitas y calizas. El tamaño de los fragmentos alcanza los 50 cms., predominando los menores de 15 cm. Los fragmentos están embebidos en una matriz arenosa arcósica de grano medio a grueso. Las areniscas son arcósicas, de grano medio a grueso. Se encuentra mal consolidada, con un grado de litificación variable, cementada localmente por calcita.

Al sureste del Sunibiate consiste principalmente de areniscas, con pocas capas conglomeráticas, ligeramente basculadas hacia el este de color más claro y con abundantes estructuras primarias, como estratificación cruzada, grietas de desecación y canales. Esta parte de la secuencia incluye capas con zeolitas, que son desde impuras a casi puras, con más del noventa por ciento de pureza (Mariano Morales, comunicación personal). En ocasiones las zeolitas se encuentran rellenando canales. El origen de estas zeolitas puede atribuirse a la alteración de material tobáceo depositado en agua, posteriormente cubierto por nuevos sedimentos.

Adyacente al área de estudio, al oeste del Rancho Los Diques, estos sedimentos alcanzan más de 300 metros de espesor. Aunque en el área estudiada no se presentan escarpes mayores de 60 metros, como en el Puente

El Gavilán, es muy posible que los espesores reales sean similares. Las actitudes de estos sedimentos son variables, van de casi horizontales a 35°, con el echado casi siempre al este. Las actitudes más horizontales pueden observarse cerca de el Rancho El Placer, al sureste de San Pedro y en donde hay intercalaciones de tobas zeolitizadas, al sureste del Rancho Sunibiate. Son sedimentos detríticos continentales, depositados en cuencas tectónicas, generalmente atribuidos al evento principal de Basin and Range.

Relaciones Estratigráficas

Esta formación cubre en discordancia angular a la formación Puerta del Sol, rocas volcánicas del Cretácico superior-Terciario inferior y unidades anteriores, aunque no todos estos contactos fueron observados, y es sobreyacida por rocas volcánicas del Mioceno superior y terrazas aluviales.

Edad y Correlación

Es evidente la falta de un criterio homogéneo para designar sedimentos como pertenecientes a ésta formación, por tanto es muy posible que se mencione con este nombre a rocas con historias geológicas diferentes.

Litológica y estructuralmente pueden correlacionarse los sedimentos atribuidos a esta formación con la subunidad superior de la unidad I de Eberly y Stanley (1978), al Grupo III reportado por Scarborough y Wilt (1979) y puede considerarse, por el grado de basculamiento que comúnmente

presentan, que fueron afectados por el episodio principal de Basin and Range (13 a 7 M.A. antes del presente). Por lo que es probable que la depositación de esta unidad se realizara entre el Mioceno medio y el Plioceno.

TERRAZAS ALUVIALES

Con este término se designa a los depósitos formados por conglomerados areniscas y limolitas poco consolidados que se encuentran rellenando valles y al pie de las sierras, formando terrazas y lomeríos alargados.

Distribución

Se encuentran representadas ampliamente en el área, cubriendo casi todo el Valle de Ures.

Litología

Están constituidas por conglomerados, areniscas y limolitas poco consolidados. Por lo general los conglomerados son polimícticos y las areniscas arcóscas. Tanto el tamaño como la composición de los fragmentos es sumamente variable, dependiendo de la cercanía de las fuentes. En ciertas partes forman depósitos de pie de monte, como en el Rancho El Sunibiate, alcanzando hasta 140 m de espesor.

Relaciones Estratigráficas

Se encuentran cubriendo discordantemente a todas las unidades anteriormente descritas y están sobreyacidas a su vez por sedimentos cuaternarios.

Edad y Correlación

En base a sus características litológico-estructurales pueden correlacionarse con la Unidad II de Eberly I.D. y Stanley T.B. (1978). En general pueden considerarse correlacionables con sedimentos depositados en las cuencas formadas por el episodio distensivo de Basin and Range, por lo que se postula una edad Plioceno-Pleistoceno para estos sedimentos.

ALUVION

Constituyen a esta unidad los depósitos de gravas, arenas, limos y cantidades subordinadas de arcillas. Rellenan principalmente los cauces de los arroyos y el cauce del Río Sonora y del Río San Miguel.

VOLCANISMO

En el area de estudio se reconocen rocas volcánicas que varían en composición de intermedia a félsica. Comprenden principalmente pórfidos, coladas y tobas de diversas composiciones. Afloran principalmente en la margen oeste del área de estudio, y al sur de San Pedro, en las inmediaciones del Rancho Chino Gordo.

Características

Las rocas volcánicas de composición andesítica presentan colores generalmente grises, verdosos o ligeramente violáceos. Las texturas son generalmente porfídicas, con cristales de plagioclasas y/o anfíboles bien desarrollados, comúnmente menores a 5 mm, en una matriz de grano muy fino o afanítica. Algunas veces contienen biotita. Localmente presentan débiles líneas de flujo, como en las cercanías de la Noria Romo. Las alteraciones más comunes son la silicificación y la argilización, localmente han sufrido epidotización ligera.

Las riolitas tienen generalmente colores claros en superficie fresca, que van desde blanco a gris verdoso y rosáceo. Los colores de intemperismo son muy variables y presentan tonos oscuros. Las texturas más comunes son

las porfídicas y las fluidales. En las texturas porfídicas los fenocristales más comunes son el cuarzo y los feldespatos potásicos siendo el primero el predominante y presentándose en los pórfidos como "ojos". Las texturas fluidales presentan laminaciones, tanto delgadas como gruesas, y generalmente tienen pliegues de flujo. La alteración más común es la silicificación, y en menor grado la sericitización de feldespatos.

Las tobas tienen colores grises, blancos, rosados y verdosos. Generalmente son tobas líticas cristalinas, de composición de intermedia a félsica. Hay presentes también aglomerados, de colores violáceos, con fragmentos comúnmente menores de 10 cm, de composición andesítica.

Mención aparte merecen algunas de las rocas que afloran al este del rancho Chino Gordo, pues en fotografía aérea se pueden observar lineaciones que corresponden a rocas de ambientes vulcanosedimentarios, tales como aglomerados, litarenitas, areniscas arcósicas y andesitas. En muestra de mano las litarenitas y areniscas arcósicas presentan laminaciones de colores claros y oscuros, de grano fino a medio, y sus componentes principales son fragmentos de roca y plagioclasas.

Una porción significativa de este grupo de rocas volcánicas presenta silicificación, argilización o cloritización a tal grado que la textura original se ha perdido, y su clasificación es difícil de realizar.

Cubren discordantemente a las rocas sedimentarias del grupo Cerro de Oro, se ignora su relación con la formación La Palma, aunque se infiere que pudieran ser contemporáneas, al menos en parte. Son claramente intrusionadas, tanto por el batolito granodiorítico como por los pórfidos monzoníticos del Terciario inferior; y cubiertas discordantemente por la formación Puerta del Sol y rocas posteriores.

Tanto la litología, como el grado de alteración y basculamiento que presentan, permiten correlacionar estas rocas con el Complejo Volcánico Inferior de Mc Dowell y Clabaugh (1981), y con el magmatismo del Cretácico superior-Terciario inferior descrito por Damon (1981).

ROCAS INTRUSIVAS GRANITICAS

Son rocas intrusivas esencialmente granodioríticas. Forman parte del Batolito Laramide (90-40 M.A.) definido por Damon et al (1983) que aflora en una extensa área del Estado de Sonora. Se encuentran ampliamente representadas en la región, formando toda la sierra que delimita el flanco este del Valle de Ures, y aflorando en forma de stocks de pequeño tamaño a lo largo del flanco oeste del mismo valle.

Características

Es un Batolito compuesto, Damon et al (1983), constituido por intrusiones sucesivas de magmas de composición principalmente granodiorítica. Tiene color gris claro, tanto en superficie fresca como intemperizada, localmente presenta color rosado claro. Los minerales identificables en muestra de mano son: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas y micas, principalmente biotita.

En una discusión sobre el origen del lineamiento en granitos terciarios, Radelli (1986) afirma que los afloramientos cercanos a La Puerta del Sol son un ejemplo espectacular de emplazamientos graníticos, de edad Laramide, por "Cauldron subsidience" (hundimiento o subsidencia de la cámara magmática). Explicando de esta manera la foliación presente en

granitos terciarios, y negando la teoría de los "Core Complex" al menos para esta área. Cartograffio en su trabajo por lo menos seis intrusiones diferentes de composición diorítica a granítica y múltiples intrusiones en forma de diques y diques anulares.

Tanto las rocas volcánicas del Cretácico superior-Terciario inferior como el Grupo Cerro de Oro y unidades anteriores son intrusionadas por estas rocas granodioríticas. No fue posible definir con exactitud la relación con los pórfidos monzoníticos, pero se infiere que: o son posteriores, o son contemporáneos y representan facies hipabisales de este mismo intrusivo granodiorítico. Forma casi totalmente la Sierra de Aconchi, en la margen este del Valle de Ures, presentando las mayores elevaciones del área de estudio. Además aflora como stocks, de dimensiones reducidas, a lo largo de la margen oeste del valle de Ures, representando esto un nivel de erosión menor que en la margen contraria. Las rocas de esta unidad son a su vez intrusionadas, en forma de diques de poco espesor, por rocas máficas, aplíticas, pegmatíticas y andesíticas de composición y actitud variables.

Se tienen dos edades radiométricas dentro del área para este evento magmático, uno en un pórfido granítico en La Puerta del Sol, con 57.0 ± 3 M.A. y la otra de una pegmatita en Mazocahui, con 41.6 ± 1.0 M.A.

Ambas obtenidas por Damon et al (1983). Un poco más al sur el mismo autor fechó una granodiorita, obteniendo una edad de 58.0 ± 3 M.A. Con base en esta información es posible asignarle una edad Paleoceno tardío-Eoceno temprano para su formación.

PORFIDOS MONZONITICOS

Definición

Son stocks de planta burdamente circular, de composición monzonítica. Forma dos pronunciadas elevaciones, una al oeste del rancho Los Cochis, conocida como Cerro San Cosme, y otra al sur del potrero El Peñasco Verde, conocida como Cerro San Damián o Cerro Las Norias. Fueron clasificados petrográficamente como pórfidos monzoníticos por Flores (1929).

Características

Tienen color rosa a gris rosado, su textura es porfídica, con fenocristales de biotita, anfíboles y cuarzo, y de plagioclasas en menor cantidad. Los fenocristales de anfíboles son euhedrales, alcanzando hasta 1 cm de longitud, los de biotita y plagioclasas son subhedrales a anhedrales y los de cuarzo son anhedrales. La matriz es microcristalina de color rosa, y forma del 30 al 50% de la roca. En las dos localidades mencionadas en la definición se identificaron evidencias de diferenciación magmática, consistentes en aglomeraciones de color gris oscuro de minerales máficos, como anfíboles y biotita. La característica principal de esta roca es su resistencia a la erosión, y por tanto su topografía distintiva en forma de cono truncado invertido.

Intrusionan de manera evidente a las rocas volcánicas del Cretácico superior-Terciario inferior. Su relación con el intrusivo granodiorítico del Terciario inferior no es clara, pero se postula que son ligeramente posteriores, o bien, facies hipabisales marginales del mismo.

VOLCANISMO BIMODAL

Este tipo de volcanismo está representado por rocas pseudoestratificadas, de composición máfica a félsica, consistiendo principalmente en coladas máficas a intermedias, con rocas volcánicas y piroclásticas félsicas subordinadas. Se observan como afloramientos pequeños, pero ampliamente distribuidos, principalmente cerca de San José de Gracia y de Pueblo de Alamos.

Características

En el extremo centro oeste del área de estudio se encuentran los mejores afloramientos de estas rocas, en esa porción se puede observar un basalto discordante sobre la formación Báucarit, sobreyaciendo a éste riolitas esferulíticas y tobas riolíticas, y encima de éstas una colada andesítica. En el resto del área sólo es posible observar los basaltos o las riolitas esferulíticas, descansando directamente sobre las unidades ígneas y sedimentarias más antiguas, pero no ambas. Tienen actitudes horizontales a ligeramente basculadas, muy raramente más de quince grados, con el echado casi invariablemente hacia el Este.

Los basaltos son vesiculares y amigdaloides, de color gris-café a gris oscuro en superficie intemperizada, y gris muy oscuro en superficie fresca. Presenta plagioclasas y olivinos visibles en muestra de mano. Separando a estas rocas de las riolitas que los sobreyacen se encuentra una capa

delgada de vitrificado de probable composición riolítica. Es de color café a negro, con material de brillo resinoso y localmente con estructuras esferulíticas. Presenta pequeños cristales de cuarzo y feldespatos.

Sobre estos vitrificados se encuentran riolitas esferulíticas y tobas ignimbríticas, que posiblemente son la variación lateral de un mismo evento. Las riolitas tienen una textura fácilmente distinguible, con abundantes esferulitas, de hasta 3 cms. Localmente se le observaron fragmentos de roca y pequeños cristales de feldespatos o plagioclasas. Las tobas ignimbríticas son de color café claro a crema, con flamas, fragmentos de roca y pequeños cristales (menores de 8 mm) de cuarzo y feldespatos. Estas rocas félsicas afloran desde la parte media, hacia el sur del área de estudio y según Radelli (com. pers., 1989) se extiende en una extensa franja al sur y al oeste.

Castro y Morfín (1988) distinguieron dos eventos compresivos en el norte del área. Un evento precretácico evidenciado por plegamiento decimétrico y hectométrico de los sedimentos precámbrico-cámbricos y cabalgamiento sobre sí mismos. Y un segundo evento mesocretácico representado por pliegues suaves y por cabalgamiento de las rocas antes mencionadas sobre los sedimentos del Cretácico inferior, así como sobre sí mismas. Peabody (1979) menciona también el plegamiento de los sedimentos posiblemente paleozoicos de El Jaralito.

En los sedimentos del Grupo San José se reconocieron tanto pliegues métricos como decamétricos, así como un antinclinal de grandes dimensiones con eje casi norte-sur, buzante hacia el sur, en los afloramientos del Cerro Chihuahuita. Además las rocas de la formación Peñasco Verde forman un amplio sinclinal, con eje NNW-SSE y buzamiento hacia el sur. No se profundizó en el estudio de estas estructuras, pero es muy posible que su disposición estructural sea tan compleja como la mencionada por los autores antes mencionados para el Grupo La Palma.

Asociadas al evento distensivo del Terciario medio hay una gran cantidad de fallas normales, con ligero predominio de las de orientación NNW-SSE. En la porción este, el intrusivo granodiorítico del Terciario inferior forma un bloque levantado (horst) que está bordeado por grandes fallas normales de diversas orientaciones, mientras que en la parte oeste

se observan muchas fallas normales, generalmente de orientación NNW-SSE, pero de poca importancia. Además existen algunas fallas grandes con rumbo E-W a NE 70°, como las que pasan por el rancho Los Cochis y la ranchería La Cieneguita. Radelli (1986) menciona el bloque granítico como el borde este de la caldera gigante San Miguel. A la escala de este trabajo no es posible apoyar ni negar esa hipótesis, sin embargo hay que hacer notar que la cartografía realizada sugiere dos posibilidades: un valle típico de sierras y valles paralelos con horsts de gran extensión y grabens reducidos, o bien, un solo bloque levantado (intrusivo granodiorítico) y otro ligeramente basculado, hacia el este.

En la Sierra de Mazatán, ligeramente al sur del área de estudio, aflora una secuencia de gneisses de 1475 ± 24 M.A. de edad (Damon, pers. comp. Radelli, 1986); y al norte, cerca de Opodepe, afloran rocas ígneas y metamórficas de posible edad precámbrica (Figueras y Grijalva, 1989). En conjunto estas rocas pueden ser consideradas como el basamento ígneo metamórfico, no aflorante en el área, sobre el que se depositó la secuencia del Grupo La Palma, de probable edad Proterozoico tardío.

El Grupo La Palma representa el inicio de una transgresión marina que depositó sedimentos en un ambiente de plataforma somera y que posiblemente continuó durante el Paleozoico inferior con la sedimentación del Grupo San José, como ocurrió en el área de Caborca. Lamentablemente hace falta más estudio para dilucidar si la depositación del Grupo San José sobre el Grupo La Palma fue realizada concordante o discordantemente.

Entre el Paleozoico inferior y el Triásico-Jurásico existe un hiatus, que puede ser debido tanto a la no sedimentación como a la erosión de las rocas comprendidas en ese rango. Es casi seguro que la depositación de la formación Peñasco Verde se realizó en algún intervalo de tiempo entre el Triásico-Jurásico. Su litología detrítica indica sedimentación marina cercana a la línea de costa. La deformación que presentan estos sedimentos indica que estuvieron sometidos a un régimen compresivo, que afectó también a los Grupos la Palma y San José, relacionable con la fase tectónica descrita por Rangin (1982), para el Jurásico superior.

Posteriormente, durante el Cretácico inferior, el mar invade nuevamente gran parte de Sonora, depositándose los sedimentos del Grupo Cerro de Oro. Estos representan en su litología la transgresión marina, su transición a facies de plataforma marina y en posterior regresión. Debido a ésta última al inicio de la orogenia mesocretácica, a la que Castro y Morfin (1988) atribuyen pliegues hectométricos y decamétricos, con ejes de orientación NW-SE y una serie de cabalgamientos de los sedimentos precámbrico-Cámbricos sobre los sedimentos del Cretácico inferior. Ya en el Cretácico superior se desarrolla una nueva depositación de sedimentos detríticos, probablemente contemporánea con el evento mesocretácico, representados por la formación La Palma detríticos a los que Carlos González (1988) atribuye un origen de arco volcánico.

Las rocas volcanoclásticas al SE de San Pedro podrían significar la transición de un dominio sedimentario a uno volcánico, que dominaría durante el Cretácico superior y Terciario inferior. Este volcanismo está representado en el área por coladas, aglomerados y tobas, de granitoides del Terciario inferior, pertenecientes ambos a un evento plutónico regional. McDowell y Clabaugh (1981) denominan a las rocas de este evento como complejo volcánico inferior.

En algún intervalo de tiempo entre el Oligoceno superior y el Mioceno medio se dieron las condiciones para la depositación de la formación Puerta del Sol: depresiones continentales, ya por fallamiento o por el vulcanismo anterior, de tamaño y forma variables; con aporte de clásticos de

composición predominantemente volcánica, cambios abundantes de facies e intercalaciones de rocas volcánicas de composición andesítica a basáltica. Estos sedimentos fueron fuertemente basculados y sufrieron un ligero plegamiento, condiciones que aún sin referirlas a un evento compresivo permiten apreciarlas como efectos de la orogenia del Terciario medio propuesta por Damon (1964).

Queda en duda si los sedimentos detríticos continentales de la formación Báucarit se depositaron (en el área de estudio y seguramente fuera e ella) en depresiones resultantes de la orogenia del Terciario medio, en las cuencas formadas por los primeros pulsos de un evento distensivo, o en ambas. Sobre esta formación, y las rocas anteriores, se depositaron rocas pertenecientes a un evento volcánico bimodal; todas las rocas descritas fueron afectadas por el episodio principal de fallamiento normal conocido como "Basin and Range", que en el sur de Arizona se realizó entre 13 y 6 M.A. antes del presente (Scarborough y Wilt, 1979). En las cuencas así formadas se depositaron las terrazas que caracterizan el Valle de Ures, mismas que están siendo erosionadas al bajar el nivel base del Valle.

Dentro del área se encuentran depósitos de minerales metálicos, de origen mayormente hidrotermal e importancia variable, emplazados como reemplazamiento y relleno en forma de vetas, mantos, skarns y stockworks. Estos depósitos están generalmente en rocas sedimentarias precretácicas y volcánicas del Cretácico superior-Terciario inferior. Su origen está asociado, obviamente en algunas, posiblemente en otras, con los intrusivos granodioríticos y en menor medida con los monzoníticos del Terciario inferior.

Los depósitos que han tenido mayor importancia económica son los de tipo skarn, de la zona de minas de El Jaralito, explotados por tungsteno en las rocas sedimentarias que se encuentran como techos colgantes sobre el intrusivo granodiorítico. Estos depósitos fueron explotados desde 1954 hasta 1981, cuando cerraron por la baja del precio del mineral.

Los depósitos tipo veta han tenido en general poca importancia, sin embargo, a principios de siglo había varias compañías extranjeras en la región, y hubo varios molinos y pequeñas plantas de beneficio. La veta más importante es la de la mina El Yeso, puede seguirse por varios cientos de metros, y se observan los restos de la planta de beneficio. Al abandonarse este mineral (por los continuos ataques yaquis, alrededor de 1913, según Flores, 1929) se formó el poblado de San José de Gracia, junto al Río Sonora. Otra veta importante es la de la Mina Los Cochis, situada en

la falla que pone en contacto ortocuarcitas del Grupo San José con rocas volcánicas del Cretácico Superior-Terciario Inferior, pero su desarrollo fue menor que en la anterior. La mena principal de estos depósitos es plata, y cantidades subordinadas de oro. En las rocas del grupo San José cercanas al rancho El Placer hay pequeñas obras mineras desarrolladas en vetas y mantos de reducidas dimensiones, una de ellas explotada actualmente. Hay que hacer notar que el rancho El Placer recibe el nombre por depósitos de baja ley de ese tipo cercanos al mismo. La mina La Salada es un depósito tipo stockwork, polimetálico (Pb-Zn-Cu) emplazado en rocas volcánicas y asociado posiblemente a una falla de edad Terciario medio-superior? que limita al intrusivo granodiorítico. Se puede afirmar que existe un área interesante al sur del poblado La Puerta del Sol, que presenta amplia silicificación y sericitización en el contacto por falla entre la formación Puerta del Sol y el intrusivo granodiorítico, pero hasta el momento se han desarrollado sólo trabajos menores.

El área tiene también potencial para explotación de minerales no metálicos, principalmente por puzolana, zeolitas, calcita óptica y en menor medida por boratos, otras rocas evaporíticas y berilo. Hasta el momento sólo ha sido trabajado en el área un solo mineral no metálico, la puzolana, resultado de la alteración de rocas volcánicas. El depósito se encuentra al norte de San José de Gracia, y su producción se utiliza actualmente en la fabricación de cemento. Las zeolitas se encuentran en la Formación Báucarit, al norte del poblado La Puerta del Sol, y son originadas por la alteración de tobas depositadas en agua; éstas presentan pureza de hasta el

90%, y está en estudio su comercialización. La calcita óptica ha sido explotada en pequeñas cantidades en el Cerro Los Metates, al noroeste de Santiago de Ures, pero no es de buena calidad. El berilo tiene posibilidades de encontrarse en el intrusivo granodiorítico, asociado a pegmatitas y vetas de cuarzo. Al norte del área hay depósitos de este tipo, pero su explotación no es económica. Por último, la unidad La Puerta del Sol tiene posibilidades por boratos, zeolitas y otros minerales no metálicos de origen evaporíticos. El Consejo de Recursos Minerales No Renovables exploró por medio de barrenación estos sedimentos en busca de boratos, por ser esta unidad muy parecida litológicamente a la secuencia sedimentaria de Tubutama, Sonora; que contiene estos minerales. Se observaron en la misma unidad pequeñas capas centimétricas de tobas zeolitizadas.

Ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución sobre y debajo de la superficie terrestre; su utilización es importante para resolver todos aquellos problemas inherentes al aprovechamiento del agua. El concepto central de hidrología superficial es el llamado ciclo hidrológico, el cual involucra la circulación del agua desde el mar a través de la atmósfera hacia la tierra y luego su regreso al mar por drenes superficiales y subterráneos.

CICLO HIDROLOGICO

Es este un término descriptivo que se refiere al proceso que sigue el agua en su circulación desde la evaporación en los océanos, su condensación en las nubes y su consiguiente precipitación en forma de lluvia de la cual una parte es retenida por la superficie del terreno, otra escurre sobre ella y el resto penetra al suelo.

Del agua que es retenida por la superficie del terreno, una parte es devuelta a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas; el agua que escurre por la superficie es la que va a formar los arroyos y los ríos que van a dar a los mares u océanos; otra parte más penetra en el terreno para formar parte de la reserva de agua subterránea.

Se pueden considerar cuatro fases principales en el ciclo hidrológico, las cuales son:

- a). - Precipitación (P).
- b). - Evaporación y transpiración (E).
- c). - Escurrimiento superficial (S).
- d). - Infiltración (I).

Así pues, el ciclo hidrológico puede resumirse en una expresión matemática, la cual recibe el nombre de ecuación hidrológica y cuya representación es la siguiente:

$$P = E + S + I$$

a). - Precipitación

Se puede considerar como el inicio del ciclo hidrológico, ya que por medio de la lluvia se recargan todos los abastecimientos de agua existentes, tanto en la superficie como los que se encuentran en el subsuelo. Para que la precipitación se origine, es necesario que una parte de la atmósfera se enfríe hasta que el aire se sature con el vapor de agua, lográndose así la condensación del vapor atmosférico. La mayor parte de la lluvia se produce por el enfriamiento expansivo del aire cuando asciende debido a la circulación ciclónica, orográfica y convectiva que se origina

al atravesar centros de tormentas, cadenas montañosas, o bien por corrientes verticales de aire húmedo durante las calmas o dentro de áreas situadas entre montañas.

La medición de la lluvia se hace mediante aparatos que dependiendo de la forma en que se registren las precipitaciones, se clasifican en: pluviómetros y pluviógrafos. El funcionamiento y mecánica de los aparatos mencionados nos sirven para la medición de láminas de precipitación en (mm) y la intensidad (mm/hr.) respectivamente. Para el presente estudio del agua subterránea, podemos subdividir la hidrología en superficial y subterránea ya que una y otra se encuentran íntimamente relacionadas. En el valle el clima se clasifica como un subtipo seco muy cálido a subtipo semiseco templado, la temperatura alcanza más de 40°C en verano (junio, julio, agosto) y siendo la mínima en los meses de enero y febrero. La precipitación pluvial promedio es de 443.5 mm (SPP, 1981), con lluvias torrenciales en verano y lluvias invernales, llamadas equipatas, de menor importancia.

b). - Evaporación y transpiración

La evaporación se origina de cualquier superficie húmeda y de las superficies de agua que estén en contacto con aire no saturado. El grado de evaporación depende de la presión de vapor del cuerpo del agua y la del

aire. Estas presiones de vapor dependen de la temperatura del agua y el aire, viento, presión atmosférica, calidad del agua y la naturaleza de la superficie.

Los factores que influyen en la transpiración pueden ser fisiológicos o ambientales; entre los primeros los más importantes son: la densidad y comportamiento de las hojas, extensión y característica de la cubierta protectora, estructura de la hoja y enfermedades de las plantas; mientras que en los segundos las principales son: la temperatura, radiación solar, viento y humedad del suelo. Al igual que la evaporación, la pérdida de agua en las plantas está gobernada por la diferencia de vapor existente en el espacio comprendido entre las hojas y el espacio exterior. En el valle de Ures la vegetación está constituida principalmente por matorrales y abundantes cactáceas y escasos pastos, típico de un ambiente semidesértico.

La influencia de la evaporación en las aguas subterráneas nunca es directa, al menos que los niveles freáticos sean muy someros. Si el suelo está altamente saturado de agua, el índice de evaporación directa puede aproximarse al de una superficie de agua libre. Por el contrario, la cantidad de agua que toman las plantas por medio de sus raíces, constituye una descarga de agua subterránea más importante que la que se tiene por evaporación directa en los acuíferos.

c). - Escurrimiento Superficial

El escurrimiento superficial es aquel que está constituido por el agua que no se evapora, ni se infiltra, sino que más bien se transforma en corrientes superficiales. Los factores que afectan directamente al escurrimiento superficial son: la intensidad y duración de la precipitación, la permeabilidad de la superficie del suelo, el tipo de vegetación, la extensión de la cuenca hidrográfica considerada, la profundidad del nivel freático y la pendiente de la superficie del suelo.

Generalmente cuando se produce la precipitación, casi toda el agua de la lluvia es recogida por la tierra en forma de retención superficial, la cual es la suma de la intercepción, más el almacenamiento en la superficie del suelo, más la evaporación. A medida que el tiempo transcurre, el almacenamiento que tiene lugar sobre la capa vegetal y sobre la superficie del suelo se va saturando progresivamente y el agua comienza a infiltrarse a través del suelo; aparece el flujo superficial que corre sobre la superficie del suelo, comenzando con ello a hacer presencia el escurrimiento puramente superficial en el caudal de los ríos. Existe además una porción de lluvia que desde el primer momento cae directamente sobre el cauce del río y circula por él, sin haber corrido previamente sobre la superficie del suelo.

d). - Infiltración

El concepto de infiltración, dentro del ciclo hidrológico, es el que mas íntimamente está relacionado con el estudio del agua subterránea, como puede desprenderse de la siguiente definición: la infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y después cualquier exceso pasa a formar parte del agua subterránea.

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Es la parte de la hidrología que estudia el comportamiento superficial de las aguas. El análisis de la hidrología superficial se realiza como un apoyo complementario para tener una idea más clara de las condiciones hidrológicas que rigen en el área. El conocimiento de las diferentes corrientes que se encuentran en el área como ríos, arroyos, etc., es de gran importancia para poder estudiar el tipo de escurrimiento, grados de escorrentías y el orden de drenajes.

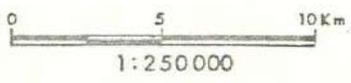
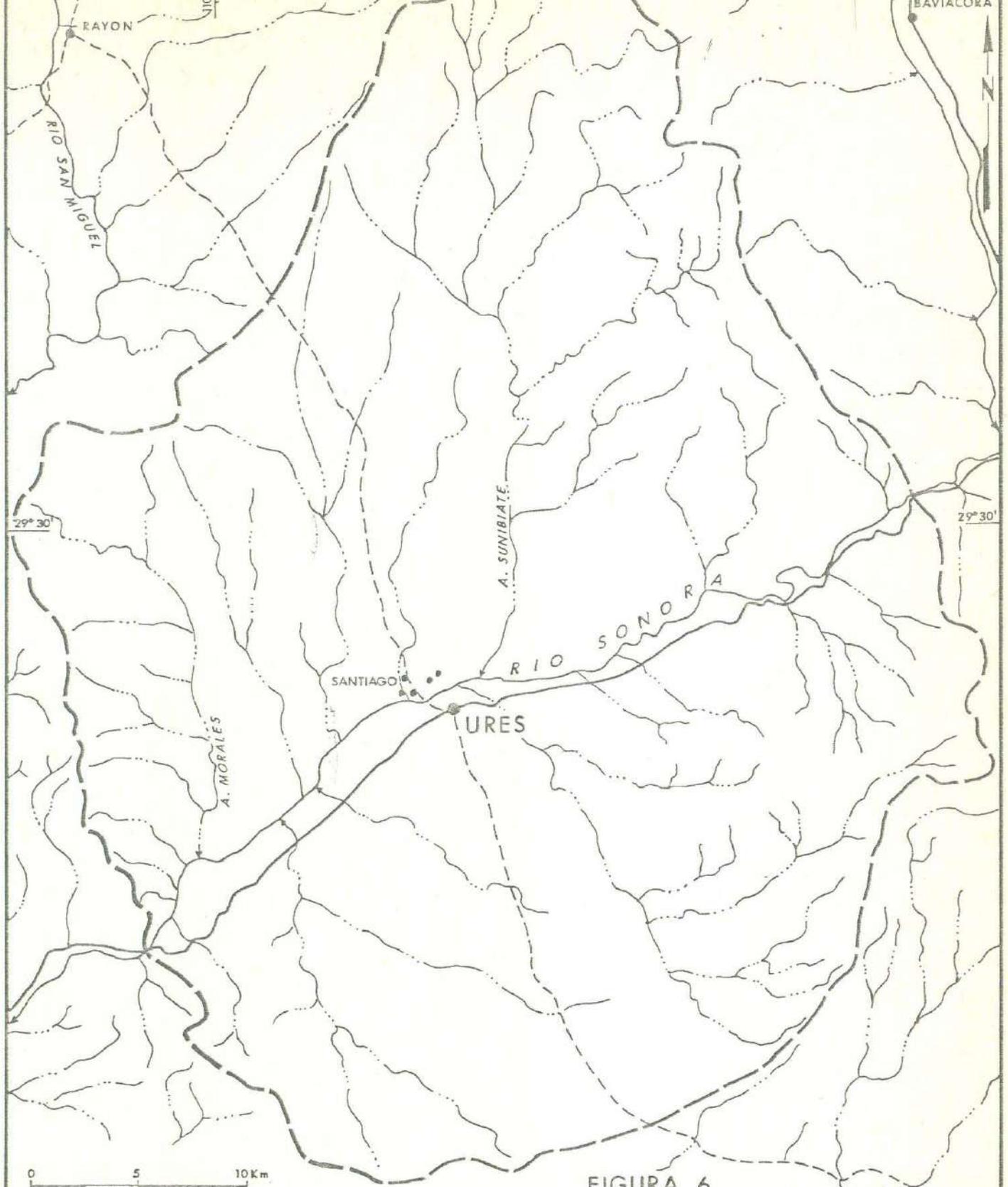
El área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca del Río Sonora, la cual está dentro de la región hidrológica RH9 de la SARH. Las principales corrientes que se encuentran en la zona de estudio son el Río Sonora, de escurrimiento perenne y los arroyos Morales, Sunibiate y Ures

con escurrimiento intermitente, siendo el río el que mas volúmenes aporta. El drenaje existente en el área de estudio tanto de la parte Norte y Sur es principalmente de tipo dendrítico, observandose pequeños cambios de acuerdo a la litología, el más notable constituido por el drenaje rectangular del macizo granítico de la margen noroeste del valle. La información anterior la podemos observar en la Fig. 6.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA O HIDROGEOLOGIA

Es la rama de hidrología que se ocupa de las aguas subterráneas, su yacimiento y movimiento, sus recargas y descargas, su origen, las propiedades de las rocas que influyen en su ocurrencia y almacenamiento, así como métodos empleados para la investigación, utilización y conservación de la misma (Tinajero, 1982). En este apartado veremos algunas características importantes del área de estudio relacionada con lo mencionado anteriormente.

La cuenca del valle de Ures está localizada principalmente en sedimentos poco consolidados y en su parte central por el aluvión que conforma el lecho del Río Sonora, el límite hacia la parte E está formada por sedimentos de las formaciones Báucarit y Puerta del Sol y por un gran macizo de rocas graníticas, al oeste principalmente por rocas volcánicas del Cretácico superior-Terciario inferior y rocas sedimentarias más antiguas.



- CORRIENTE INTERMITENTE
- CORRIENTE PERMANENTE
- CAMINO DE TERRACERIA
- CARRETERA
- LIMITE HIDROGRAFICO DEL VALLE DE URES

FIGURA 6

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
RED HIDROGRAFICA DEL VALLE DE URES	
TESIS PROFESIONAL JORGE E. CIRETT G. FRANCISCO A. AGUILAR R.	FECHA: JULIO 1989 DIBUJO: STR

Tanto hacia la parte N como S se encuentra en terrazas, al W y SW de la cuenca tenemos rocas volcánicas del Cretácico y un volcanismo bimodal más reciente, así como presencia de la Formación Báucarit.

Dentro de las clasificaciones de acuífero existente hay que tomar en cuenta la definición de acuífero y la clasificación de los mismos. Se considera como acuífero a las formaciones geológicas que pueden almacenar y ceder agua en cantidad aprovechable, desde luego ésta 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.

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 o ceder volúmenes significativos de agua. Se le conoce como acuífero libre cuando su límite superior es el nivel freático. Perteneciente el acuífero del área de estudio al último tipo. Debido a que en el área no se llevó un estudio detallado de piezometría y descripción de las capas inferiores no se fue posible determinar la presencia de otro acuífero en el valle.

Existen diferencias en las profundidades del nivel freático medidos en los pozos y norias del área de estudio, debido entre otras cosas a la topografía. Sin embargo se pudo establecer que las mínimas profundidades se encuentran en la parte central del área con profundidades que van de 0.9 a 3.5 mts. Hacia la parte N y S se observan aumentos de profundidades hasta 14.8 m. en la parte norte y 25.9 m. en la parte sur, se observa una relación de la profundidad y la dirección lo que nos indica la recarga por el río en los pozos adyacentes al mismo y en dirección a éste en las más lejanas.

Para conocer la calidad de agua subterránea de un acuífero es necesario el estudio de la geoquímica del agua, ésta parte del estudio corresponde a la hidrogeoquímica, 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 sí y su posible influencia con la superficie terrestre.

INTRODUCCION

Una de las ramas de la hidrogeología de vital interés para el uso del agua lo constituye la hidrogeoquímica, la cual se ocupa de investigar la magnitud y el tipo de sólidos disueltos en el agua subterránea con el fin de relacionarlos con su ambiente. A través del análisis químico de las muestras, se observan los cambios en la calidad química en espacio y tiempo que en muchos casos es posible relacionar con condiciones climatológicas, geología regional, funcionamiento hidrogeológico, etc.

En forma natural todas las aguas contienen sales. Un contenido mayor del normal de sales en el agua puede hacer que dichas aguas no sean útiles para el hombre. La fuente original de donde provienen las sales del agua son los minerales, que se encuentran formando las rocas que constituyen la corteza terrestre. La formación de las sales se realiza mediante el proceso de intemperización (hidrólisis-solución-oxidación y carbonatación, a veces precipitación), de las rocas donde se liberan los minerales que a la postre constituyen los suelos. La calidad del agua está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga. Por lo tanto, la calidad del agua es una consideración importantísima para la investigación de las condiciones de salinidad en la zona de estudio (Richards, 1977).

El agua al precipitarse hacia la corteza terrestre entra en contacto con el suelo y subsuelo, en el flujo que se crea se realiza una acción disolvente y de intercambio iónico, dicho proceso continúa a medida que el agua se infiltra y circula por el medio poroso. Esto se debe a que a medida que el agua entra en contacto con diversas formaciones geológicas en su recorrido va disolviendo sales y cambiando su composición química, en la que intervienen además procesos como: área de contacto, temperatura, velocidad de circulación, etc.

Dado que uno de los objetivos principales de este trabajo es determinar la causa de la salinidad que se observa en el valle, los métodos utilizados y los elementos determinados se tomaron desde el punto de vista agrícola por ser las tierras del valle utilizadas con este fin. Tomando en cuenta además la relación con la geología del área como una posible causa de este proceso.

Los procesos de hidrogeoquímica abarcan principalmente los siguientes fenómenos:

- El viento sobre los océanos lleva tierra adentro: sodio, cloruros y otros compuestos.
- El agua al condensarse disuelve: N , O_2 y CO_2 .
- Cuando el agua se infiltra en suelos ricos en materia orgánica disuelve cantidades adicionales de CO_2 .
- Disuelve minerales y libera aniones y cationes.

- Oxida materiales sulfurosos para proveer SO_4 y otros constituyentes.
- Los cationes en solución son intercambiados con los existentes en suelos y rocas.
- Los SO_4 en solución son reducidos bacteriológicamente y se forma SO_2 .
- Cuando determinadas sales alcanzan la sobresaturación se precipitan minerales.
- Por evaporación y transpiración el agua retorna a la atmosfera dejando productos químicos.

La investigación hidrogeoquímica comprende las siguientes actividades:

- a) Recolección de muestras de agua que se envían al laboratorio.
- b) Ordenamiento y pasos operacionales, tanto analíticos como gráficos de los resultados de análisis fisicoquímicos.
- c) Elaboración e interpretación de planos con curvas de igual concentración de sales en base al conocimiento que se tenga del marco hidrogeológico en que se muevan las aguas subterráneas.
- d) Elaboración e interpretación de diagramas de análisis químicos de muestras de aguas para la representación de familias de aguas.

MUESTREO

A continuación se exponen algunas recomendaciones al efectuar muestreos en una zona de estudio:

- a) Deberá ser representativo del área de estudio.
- b) El recipiente deberá enjuagarse con el agua a muestrear 2 ó 3 veces antes de recogerla.
- c) El volumen deberá ser suficiente para los análisis.
- d) Llevar un control adecuado del sitio de la muestra.

Dentro del área de estudio se recolectaron un total de 28 muestras, en la tabla #1 siguiente se observan los datos de localización y características principales. El criterio para seleccionar el lugar para la toma de muestra fue influenciado por las facilidades para llegar al lugar de la muestra y las condiciones del lugar donde se quería muestrear. El total de muestras fue tomado en pozos utilizados para riego y para animales, los análisis fueron enfocados principalmente a su utilización en la agricultura, por lo que no se checó la potabilidad de las aguas para consumo humano.

Los recipientes utilizados para la toma de muestras fueron medios galones de plástico con tapón, para evitar la pérdida de gases, una vez que se terminaron de recolectar las muestras se guardaron en una hielera para

su traslado al laboratorio de la Escuela de Agricultura y Ganadería para su análisis y posteriormente al B.T.U. para la verificación de datos. El total de los análisis para determinar los principales elementos así como la determinación del P.H. y la conductividad eléctrica se llevaron en dichos laboratorios. Por carecer del equipo necesario las dos últimas pruebas no se llevaron a cabo en el campo, como es recomendado. El procedimiento efectuado para obtener los resultados físicoquímicos de las muestras fue de acuerdo al de los laboratorios de salinidad de los Estados Unidos.

Durante el proceso de muestreo se observó que el nivel, o espejo del agua, en la mayoría de los pozos muestreados cerca del río era menor a 2 m.; un nivel freático muy somero que podría influir en gran medida en el proceso de salinización de la superficie, esto provocado por el efecto de la evaporación. Así mismo, debido a la altura del espejo de agua y a que la mayoría de los pozos están adomados, no fue posible observar el perfil subterráneo de los pozos. Aunque inferimos que los cercanos a las márgenes del río no deben de haber profundizado más allá de los sedimentos tipo terrazas que rellenan la cuenca. Este tipo de información lo conserva la SARH, ya que lleva un control al momento de perforar cada pozo; esta información es manejada como confidencial y no se tuvo acceso a ella.

MUESTRAS DE AGUA.

TABLA 1

MUESTRA	TIPO	LOCALIZACION	PROF. (M.)	FECHA	LITOLOGIA (Cercana a la muestra)
Geo #1	Río	El Gavilán	--	Oct. 26	Rocas volcánicas y pórfidos intrusivo
Geo #2	Pozo	Rancho El Sunibiate	4.50	Oct. 26	Intrusivo granodiorítico y terrazas
Geo #3	Pozo	Rancho El Estribo	14.80	Oct. 26	Terrazas
Geo #4	Pozo	Rancho El Aguajito	3.00	Oct. 26	Terrazas Bajo un represo
Geo #5	Pozo	Intersec. El Aguajito -El Sunibiate	8.50	Oct. 27	Terrazas
Geo #6	Pozo	La Puerta del Sol	2.50	Oct. 27	Granito, conglomerado rojo, terrazas
Geo #7	Río	La Puerta del Sol	--	Oct. 27	Granito, conglomerado rojo, terrazas
Geo #8	Pozo	San Pedro	3.50	Oct. 27	Aluvi6n, terrazas y Báucarit
Geo #9	Pozo	El Rancho	3.70	Oct. 27	Terrazas
Geo #10	Pozo	La Raja	6.20	Oct. 27	Terrazas
Geo #11	Tiro	La Salada	--	Oct. 27	Rxs. volcs. muy alteradas, con sulfuros
Geo #12	Represo	La Salada	--	Oct. 27	Rxs. volcs. muy alteradas, con sulfuros
Geo #13	Pozo	El Bamuco	--	Oct. 27	Fm. La Puerta del Sol
Geo #14	Pozo	La Pithaya	8.00	Oct. 27	Terrazas, Fm. Puerta del Sol

MUESTRAS DE AGUA.

MUESTRA	TIPO	LOCALIZACION	PROF. (M.)	FECHA	LITOLOGIA
Geo #15	Pozo	La Laguna Colorada	12.80	Oct. 27	Fm. La Puerta del Sol
Geo #16	Pozo	Los Corralitos	8.00	Oct. 27	Fm. La Puerta del Sol y volcánicas
Geo #17	Pozo	San Rafael	3.00	Oct. 28	Terrazas (aluvión)
Geo #18	Pozo	La Estancia	2.20	Oct. 28	Aluvión
Geo #19	Pozo	El Sauz	1.90	Oct. 28	Aluvión (tomado del depósito)
Geo #20	Pozo	El Placer	1.90	Oct. 29	Mat. de relleno en Baúcarit
Geo #21	Pozo	Santiago Pozo #3	2.20	Oct. 30	Aluvión, terrazas
Geo #22	Pozo	Santiago Pozo #2	2.30	Oct. 30	Aluvión, terrazas
Geo #23	Pozo	Santiago Pozo #1	0.90	Oct. 30	Aluvión, terrazas
Geo #24	Pozo	La Escondida	1.00	Oct. 30	Aluvión, terrazas
Geo #25	Pozo	Ures	3.50	Oct. 30	Aluvión, terrazas
Geo #26	Pozo	Noria Blanca	25.90	Oct. 30	Terrazas, volcánicas
Geo #27	Pozo	Agua Nueva	9.80	Oct. 30	Terrazas, volcánicas
Geo #28	Pozo	La Iguana	7.60	oct. 30	Terrazas, volcánicas

COMPOSICION DE LAS AGUAS

En un agua subterránea natural la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico, y los más comunes son:

aniones: cloruro (Cl), sulfato (SO_4), bicarbonato (HCO_3)
cationes: sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K),
boro (B)

El resto de las sustancias se encuentra en menor proporción (los iones menores tienen menos del 1% del total de iones y los elementos traza apenas se distinguen). Los iones disueltos son menores que el 1% en peso por lo cual se requieren unidades de medida mas pequeñas, tales como las partes por millón (ppm), miligramos por litro (mg/lt), equivalentes por millón (epm) y miliequivalentes por litro (meq/l). A continuación se dan las principales unidades y su medida, así como las principales conversiones de dichas unidades.

PPM: Es una parte por cada millón de partes en peso de la muestra. La

forma mas usual es $\text{mg} = \frac{\text{mg}}{1\ 000\ 000} = 1$

— —————
kg 1 000 000 mg 1 000 000

mg/lt: Miligramos del ión por litro de la muestra. Difiere ligeramente de las PPM ya que el litro de muestra pesa algo mas que 1 kg, sin embargo las diferencias no son apreciables y puede considerarse que 1mg/lt = 1 ppm en términos prácticos.

e_{pm}: Partes por millón del ión por peso equivalente. El peso equivalente es el peso molecular entre la valencia del ión:

$$e_{pm} = \frac{PPM}{\frac{\text{Peso Molecular}}{\text{Valencia}}}$$

e_{pm} (+) cationes
e_{pm} (-) aniones

meq/l: Miligramos por litro del ión entre el peso equivalente. Es aproximadamente igual a los equivalentes por millón (e_{pm}).

— Las características físicoquímicas del agua que se determinaron fueron los siguientes:

Sulfatos (SO ₄)	Sodio (Na ⁺)
Cloruros (Cl ⁻)	Potasio (K ⁺)
Carbonatos (CO ₃)	Calcio (Ca ⁺⁺)
Bicarbonatos (HCO ₃)	Magnesio (Mg ⁺⁺)
	Boro (B ⁺⁺⁺)
Conductividad Eléctrica (C.E.)	Sólidos Totales
Potencial de Hidrógeno (pH)	Disueltos (STD)

En el presente estudio se utilizó como unidad los meq/lt. ya que los diagramas y tablas utilizadas se expresan en dichas unidades. Algunas propiedades acerca de los iones más importantes del agua pueden ser observadas en la tabla 2.

Tabla 2: Algunas características de los iones mas importantes contenidos en las aguas subterráneas.

ION	PROPIEDADES QUIMICAS	CONCENTRACION	NOCIVIDAD
Cl ⁻	Sales muy solubles. Muy estable en disolución y difícilmente precipitable. Va asociado a la ion <u>Na</u> generalmente.	10 C 250 agua dulce 18000 C 2100 agua de mar C = 220000 salmueras	Mas de 300 ppm producen sabor salado al agua de bebida.
SO ₄ ⁼	Sales moderadamente solubles o muy solubles. Difícilmente precipitable. Puede separarse si existe una evaporación importante. En general es estable	2 C 150 agua dulce C=5000 si hay <u>Ca</u> C=200000 si hay <u>Mg</u> o <u>Na</u> C= 3000 agua de mar	No quitan la sed y tienen sabor poco agradable y amargo.
HCO ₃ ⁻	Comunican alcalinidad al agua en el sentido de que dan capacidad de consumo de ácido al producir una solución tampón. No son oxidables ni reducibles en aguas naturales. Se pueden precipitar fácilmente como CaCO ₃	50 C 350 agua dulce C = 100 agua de mar	No es tóxico. Las aguas bicarbonatadas sódicas fijan el Na al terreno y crean un medio alcalino. su equilibrio es importante en la corrosividad
Na ⁺	Alta solubilidad y difícil precipitación. Va asociado con el <u>Cl</u> generalmente.	1 C 150 agua dulce C=100000 agua de mar C=1000000 salmueras	Altas concentraciones perjudican a plantas al reducir la permeabilidad del suelo.
K ⁺	Alta solubilidad y difícil precipitación. Es absorbido por arcillas en formación.	0.1 C 10 aguas dulces C=400 agua de mar	No presenta problemas en las concentraciones existentes. Es vital para las plantas.
Ca ⁺	Moderado a muy soluble. Es fácil de precipitar como CaCO ₃ y disolverse al cambiar el <u>PH</u>	10 C 250 agua dulce C=400 agua de mar C=50000 salmueras de CaCl ₂	Aporta de dureza y producción de incrustaciones.
Mg ⁺⁺	Mas soluble que el calcio y algo mas difícil de precipitar	1 C 100 agua dulce C=1200 agua de mar	Propiedades laxantes y da sabor amargo. Contribuye a la dureza.

Con el fin de conocer las principales características físico-químicas del agua subterránea del área de estudio, y con ello conocer el comportamiento de las diferentes sales solubles encontradas en las aguas, se llevó a cabo un muestreo de norias, pozos y corrientes de aguas, obteniéndose un total de 28 muestras, cuyos resultados de laboratorio se observan en el cuadro 1.

La representación de los análisis químicos es una necesidad que viene derivada del tratamiento de numerosos análisis. Para poder agruparlos y designar clasificaciones, con especial interés si se trata de estudios hidrogeoquímicos de diferentes acuíferos. Su objetivo es aplicar con facilidad el manejo y estudio de los análisis químicos con el empleo de gráficas y diagramas, en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de aguas de un mismo lugar o diferentes lugares. Estas gráficas y diagramas pueden poner de relieve variaciones temporales, espaciales, o bien resaltar relaciones entre los iones de una misma muestra. Las cifras a utilizar pueden ser la concentración de algún o algunos iones, residuo seco (STD), la conductividad eléctrica, alguna relación o 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 más adecuados son los de Stiff y los circulares.

Los diagramas utilizados en este trabajo son: triangulares de Piper-Hill-Langelier, de Stiff modificado, Circulares y de la clasificación de aguas o de Wilcox. Además se elaboraron planos geohidroquímicos que consisten en colocar sobre un mapa de la región cifras, símbolos o figuras que representan la calidad química del agua en cada pozo o fuente de la que se tengan datos. Los planos realizados en este estudio fueron los siguientes: de isoconductividad eléctrica, isoresiduos secos evaporados, isobicarbonatos, así como los planos de las relaciones $+Mg/+Ca$, SO_4 / rCl^- , $rNa/r(Na + Ca + Mg)$, donde r es igual a Meq/lt . Cada uno de estos planos precisa de atención para tratar de obtener la información que contienen. A veces es posible deducir la existencia de uno o varios mantos acuíferos, ciertas condiciones geológicas, las zonas de recarga, dirección del flujo subterráneo, etc.

Debido al tipo de agua muestreada y su utilización las clasificaciones que se usaron para este estudio fueron hechas para aguas con fines de uso agrícola. Se determinaron los iones dominantes, su contenido aniónico y salinidad, la relación de adsorción de sodio (RAS) o clasificación de Wilcox, que ya fue mencionado dentro de los diagramas utilizados en este trabajo pero que puede ser utilizado para este fin.

CUADRO 1 Resultados de los análisis químicos de las muestras de aguas recolectadas en la zona de estudio en Ures, Sonora (en meq/lt).

Muestra	pH	C.E.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
1	7.7	800	1.37	0.45	5.96	3.69	0.36	2.00	1.27
2	8.3	460	1.18	0.65	3.75	1.97	0.80	1.39	1.91
3	8.6	580	3.73	0.71	0.59	1.79	1.21	2.04	0.66
4	8.0	590	3.53	0.71	1.28	1.44	1.21	1.65	1.20
5	8.0	600	3.25	0.78	1.37	2.95	0.39	1.91	1.02
6	7.7	890	2.78	0.58	5.35	3.23	1.20	2.00	2.35
7	8.2	660	1.96	0.58	3.71	2.34	0.40	1.82	1.25
8	8.1	640	2.03	0.71	3.20	2.14	0.23	2.43	0.99
9	7.4	510	2.41	1.29	1.26	0.65	0.09	3.65	1.17
10	8.5	490	2.13	1.07	1.35	1.60	0.26	2.08	1.09
11	6.5	320	0.27	0.39	2.60	0.65	0.13	1.56	0.86
12	8.1	650	2.64	1.43	0.81	2.13	0.59	2.13	1.84
13	8.3	330	1.59	0.81	3.01	1.22	0.18	2.26	1.15
14	8.5	420	2.10	0.91	3.30	2.49	0.69	2.17	1.22
15	8.1	2900	0.68	3.45	30.27	15.57	7.31	8.87	3.17
16	8.1	4090	1.07	16.94	23.90	18.91	3.53	8.00	4.96
17	8.3	1100	0.88	2.54	6.50	3.73	1.97	2.13	1.66
18	7.6	700	1.05	0.71	5.24	1.14	0.66	3.47	1.25
19	8.0	750	2.71	0.52	3.53	1.47	0.64	3.26	1.25
20	8.1	650	2.51	1.04	2.66	2.31	0.93	2.39	1.02
21	8.4	600	1.21	0.58	5.63	2.30	0.41	2.82	1.45
22	8.3	230	1.28	0.38	0.13	0.90	0.24	1.17	0.43
23	8.1	660	1.96	0.91	4.56	1.32	0.55	3.39	1.45
24	7.8	650	1.56	0.39	4.76	1.63	1.21	2.56	1.17
25	8.3	550	1.66	0.45	4.24	0.77	0.40	3.56	1.32
26	8.3	300	1.88	1.56	1.83	0.98	0.38	2.13	0.81
27	8.2	300	2.10	0.85	0.59	0.41	1.34	2.04	1.22
28	8.5	550	2.37	0.45	2.50	0.67	0.41	2.78	1.68

CUADRO 2 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	17.58	5.85	76.56	50.30	5.02	27.25	17.41
2	21.26	11.64	67.09	32.44	13.21	22.84	31.49
3	74.03	14.24	11.72	31.39	21.27	35.72	11.60
4	63.89	12.93	23.17	26.22	22.05	29.93	21.78
5	60.18	14.47	25.33	41.00	6.26	30.44	16.27
6	31.89	6.71	61.38	36.80	13.73	22.73	26.73
7	31.39	9.34	59.26	40.19	6.90	31.36	21.52
8	34.18	12.00	53.80	36.83	4.09	41.91	17.16
9	48.61	25.99	25.39	11.70	1.75	65.46	21.07
10	46.80	23.44	29.75	31.77	5.20	41.28	21.74
11	8.25	79.76	11.98	20.41	4.06	48.85	26.96
12	54.03	16.68	29.27	31.87	8.83	31.81	27.48
13	29.44	55.51	15.04	25.42	3.91	46.84	23.82
14	33.31	52.16	14.51	37.78	10.60	32.98	18.61
15	1.97	87.97	10.04	44.59	20.92	25.45	9.67
16	2.55	57.02	40.42	53.40	9.98	22.59	14.00
17	8.86	65.52	25.61	39.29	20.77	22.43	17.99
18	14.47	74.81	10.20	17.52	10.47	53.15	19.14
19	40.01	52.19	7.68	22.20	9.67	49.21	18.90
20	40.46	42.77	16.76	34.72	14.05	35.87	15.39
21	16.37	75.74	7.87	32.84	5.98	40.36	20.80
22	71.17	7.34	21.47	32.87	8.90	42.50	15.71
23	26.91	61.25	12.30	19.72	8.17	50.43	21.66
24	23.21	70.95	5.83	24.80	18.45	38.90	17.83
25	26.11	66.71	7.17	12.80	6.61	58.69	21.87
26	20.59	42.91	36.53	22.87	8.93	49.36	18.84
27	59.37	16.66	33.95	10.38	8.55	50.65	50.40
28	44.55	46.90	8.54	12.17	7.52	49.999	30.30

CUADRO 3 Comparaciones iónicas (fórmulas iónicas), en orden decreciente de las cantidades en reacción por cien (%).

MUESTRA NO.	FORMULAS IONICAS													
1	=	SO_4	>	HCO_3	>	Cl^-		Ca^{++}	>	Na^+	>	K^+	>	Mg^{++}
2	=	SO_4		HCO_3		Cl^-		Ca^{++}	=	K		Na		Mg
3	-	HCO_3		Cl^-		=	SO_4	Na		Ca		Mg		K
4	-	HCO_3		=	SO_4		Cl^-	Na		Ca		Mg	=	K
5	-	HCO_3		=	SO_4		Cl^-	Ca		Na		K		Mg
6	=	SO_4		-	HCO_3		Cl^-	Ca		K		Na		Mg
7	=	SO_4		-	HCO_3		Cl^-	Ca		Na		K		Mg
8	=	SO_4		-	HCO_3		Cl^-	Na		Ca		K		Mg

MUESTRA NO.

FORMULAS IONICAS

9	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	Cl^-	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	Na	>	K	>	Ca	>	Mg
10	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	Cl^-	Na^+		Ca		K		Mg
11	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	Cl^-	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	Na		K		Ca		Mg
12	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	Cl	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	Ca		K		Na		Mg
13	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	Cl^-	Na		Ca		K		Mg
14	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	Cl^-	Ca		Na		K		Mg
15	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	Cl^-	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	Ca		Na		Mg		K
16	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	Cl^-	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	Ca		Na		K		Mg
17	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	Cl^-	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	Ca		Na		Mg		K
18	$\overset{=}{\text{SO}_4}$	$\overset{-}{\text{HCO}_3}$	Cl^-	Na		K		Ca		Mg

MUESTRA NO.

FORMULAS IONICAS

19	= SO ₄	- HCO ₃	> Cl ⁻	Na >	Ca >	K >	Mg
20	= SO ₄	- HCO ₃	Cl ⁻	Na	Ca	K	Mg
21	= SO ₄	- HCO ₃	Cl ⁻	Na	Ca	K	Mg
22	= HCO ₃	Cl ⁻	= SO ₄	Na	Ca	K	Mg
23	= SO ₄	= HCO ₃	Cl ⁻	Na	K	Ca	Mg
24	= SO ₄	- HCO ₃	Cl ⁻	Na	Ca	-	Mg K
25	= SO ₄	- HCO ₃	Cl ⁻	Na	K	Ca	Mg
26	= SO ₄	Cl ⁻	- HCO ₃	Na	Ca	K	Mg
27	- HCO ₃	Cl ⁻	= SO ₄	Na	K	Ca	Mg
28	= SO ₄	= HCO ₃	Cl ⁻	Na	K	Ca	Mg

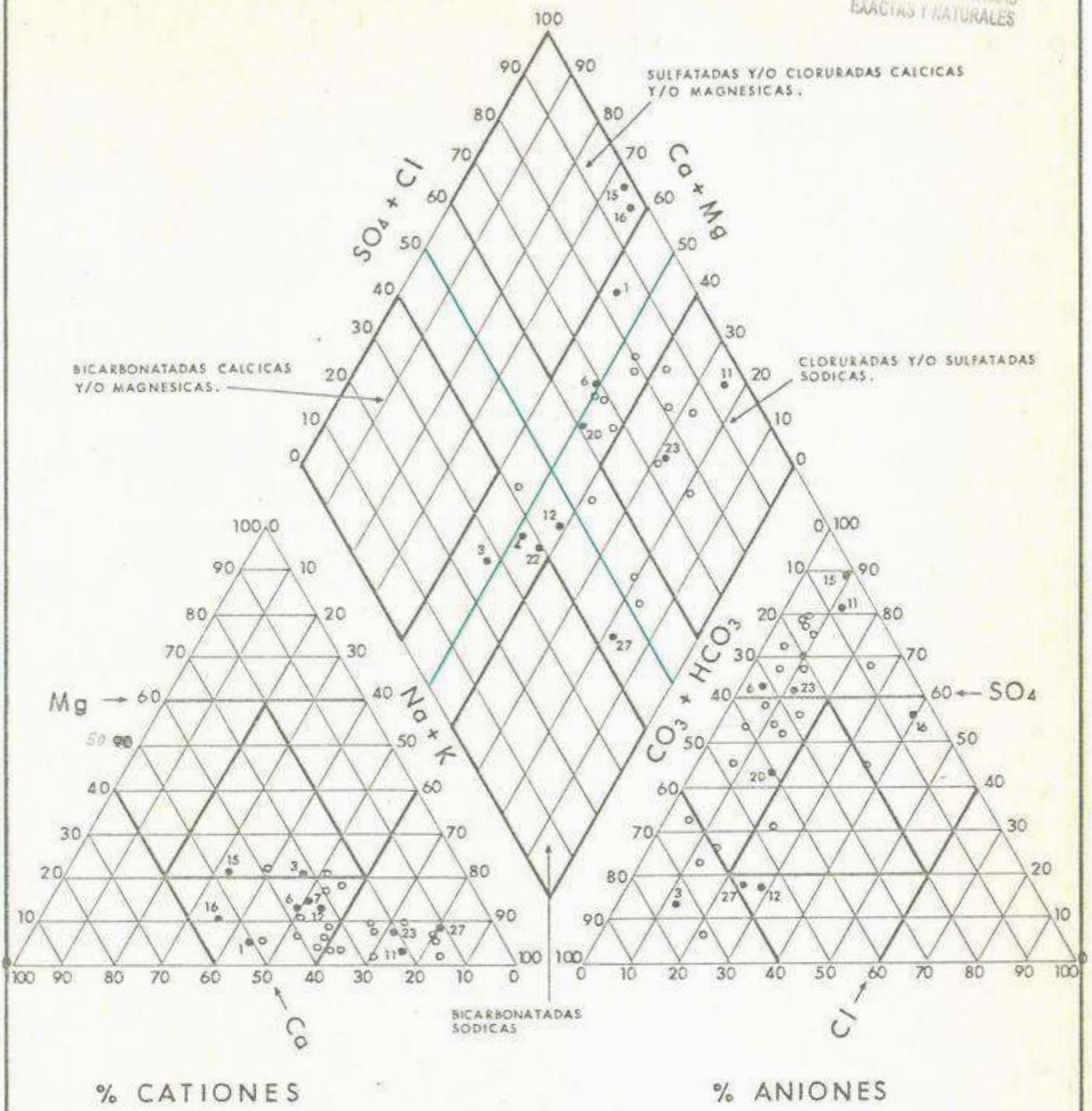
METODOLOGIA E INTERPRETACION

Dentro de este capítulo se hará la descripción de cada uno de los procesos o métodos de estudio utilizados en este trabajo así como los resultados e interpretación de los mismos.

METODO DE PIPER-HILL-LANGELIER

Está constituido por dos triángulos equiláteros inferiores y un rombo central superior, los lados de los triángulos y rombos son iguales, encontrándose divididos en cien partes iguales que representan los valores de las cantidades en reacción por ciento. El subtotal de todos los cationes en meq/lit es tomado como el 100% base para computar los porcentos de los valores de reacción de los diversos cationes; igualmente se procede con los aniones.

En el triángulo izquierdo se presentan las concentraciones de los principales cationes, (Mg, Na+K, Ca) y en el derecho las concentraciones de los principales aniones (Cl, SO₄, HCO₃+CO₃); en ambos casos la representación es puntual, estos puntos proyectados sobre el rombo central proporcionan en su intersección un tercer punto que representa el carácter químico de la muestra. La posición de este punto dentro del rombo indica



% CATIONES

% ANIONES

FIGURA 7

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER	
TESIS PROFESIONAL JORGE E CIRETT G.	FECHA : JULIO 1989
FRANCISCO A. AGUILAR E.	DIBUJO : STR

la composición relativa de un agua subterránea en términos de las parejas cationes-aniones correspondientes a los cuatro vértices del campo. Los distintos tipos de calidad de agua subterránea, pueden ser rápidamente clasificados por su clasificación en las subáreas del rombo central.

Dentro de este método se lleva a cabo una clasificación por el contenido aniónico que nos indica el contenido relativo de los diferentes elementos contenidos en el agua, permitiendo identificar las aguas de un mismo origen, así como la comparación de la composición química del agua con las características fisicoquímicas de la roca de la cual proviene.

Consiste en clasificar de izquierda a derecha en orden decreciente las cantidades en reacción agrupadas en aniones y cationes.



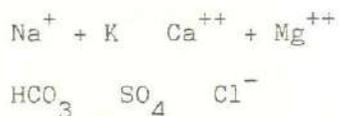
Tiene como característica el ser igual para cualquier punto de una capa acuífera, ser representativa del agua subterránea que contiene y estar relacionada con las características fisicoquímicas de la roca almacenante.

Además se hizo una clasificación por iones dominantes, la cual consiste en denominar el agua por el anión y el catión que sobrepase el 50% de sus sumas respectivas, si ninguno de los cationes y/o aniones supera al 50% se nombran los datos más abundantes; en algunos casos se puede añadir el nombre de algún ión que se encuentre en concentración elevada.

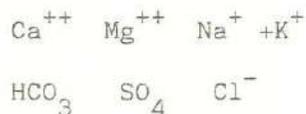
Los resultados en porcentaje utilizados para este método se tienen en el cuadro 2 y la dominancia de los iones en base a su porcentaje se observa en forma de comparaciones iónicas, en orden decreciente de las cantidades en reacción por cien (%), esto en el cuadro 3. En la figura 7 se observa el diagrama de Piper-Hill-Langelier y la ubicación dentro de este de las muestras tomadas en el área de estudio. En el cuadro 4 se observa la clasificación de las aguas en base a los iones dominantes. El cálculo de los porcentajes de los iones se realizó en base al contenido de aniones y cationes expresados en meq/lit de cada uno de las muestras.

Podemos decir que la dominancia química de los iones en el agua natural son Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Cl^- , SO_4 , HCO_3^- . Los siguientes iones son los mayores componentes de algunos grupos comunes de las rocas:

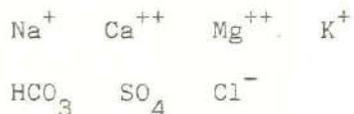
1. El agua en contacto con rocas graníticas



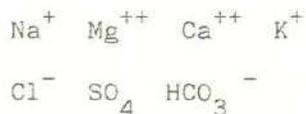
2. Aguas de rocas carbonatadas (dolomías y calizas)



3. Agua de acuíferos basálticos



4. Agua marina



CUADRO 4.

Clasificación de aguas de acuerdo a los iones dominantes.

Muestra No.	Familia de Aguas
1	○ Sulfatada - Cálcica
2	○ Sulfatada - Cálcica
3	× Bicarbonatada - Sódica
4	× Bicarbonatada - Sódica
5	✓ Bicarbonatada - Cálcica
6	○ Sulfatadas - Cálcicas
7	○ Sulfatadas - Cálcicas
8	→ Sulfatadas - Sódica
9	× Bicarbonatada - Sódica
10	× Bicarbonatada - Sódica
11	→ Sulfatada - Sódica
12	× Bicarbonatada - Sódica
13	→ Sulfatada - Sódica
14	○ Sulfatada - Cálcica
15	○ Sulfatada - Cálcica
16	○ Sulfatada - Cálcica
17	○ Sulfatada - Cálcica
18	→ Sulfatada - Sódica
19	→ Sulfatada - Sódica
20	→ Sulfatada - Sódica
21	→ Sulfatada - Sódica
22	× Bicarbonatada - Sódica
23	→ Sulfatada - Sódica
24	→ Sulfatada - Sódica
25	→ Sulfatada - Sódica
26	→ Sulfatada - Sódica
27	× Bicarbonatada - Sódica
28	→ Sulfatada - Sódica

En base a lo anterior podemos decir que las aguas del área de estudio resultaron ser sulfatada sódicas y sulfatadas cálcicas en su mayoría como se observa en el cuadro y figura correspondiente, y en menor proporción bicarbonatadas sódicas y una sola muestra (#5) resultó bicarbonatada cálcica. Esta dominancia del SO_4 nos puede indicar su posible origen a partir de las siguientes condiciones:

- lavado de terrenos formados en condiciones de gran acidez
- oxidación de sulfuros de rocas ígneas y sedimentarias
- disolución de yeso, anhidrita y terrenos yesíferos
- concentración en el suelo de agua de lluvias

Por lo anterior se tiene en el área de estudio que las aguas reciben influencia de rocas ígneas y rocas sedimentarias. Así mismo la predominancia de HCO_3 es común cuando existe material carbonatado (dolomías y calizas). Es posible que los sedimentos tipo terraza y la formación La Puerta del Sol provean gran parte del sulfato encontrado en las aguas.

DIAGRAMA DE STIFF

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. Cada recta representa un segmento proporcional al porcentaje de miliequivalentes por litro (meq./lt), obteniéndose por la unión de todos los segmentos un polígono. Este diagrama es muy útil porque a simple vista nos permite distinguir la similitud que puede haber entre las aguas, es muy empleado en cartografía hidrogeoquímica.

Los valores que se utilizan para este método son los resultados del análisis hechos a las muestras de agua en el área de estudio y los cuales se observan en el cuadro 1. (Custodio, 1968). En este trabajo se elaboraron una figura (Fig.8), y un plano (fig.9) con los diagramas de Stiff. En la primera se observan algunas muestras representativas de las aguas del área y sus diagramas respectivos mientras que en el plano se muestra el total de diagramas de todas las muestras y su localización. En este último plano es posible obtener una idea del comportamiento o predominancia de los elementos en el área de estudio. Podemos observar que los elementos dominantes en las muestras del área de estudio fueron el SO_4 y la suma de Na+K en casi todas las demás, dentro de estas las muestras #15, #16 y #17 presentan valores muy altos en dichos elementos. Así mismo se tuvo como elementos importantes el HCO_3 y el Ca, estos en menor proporción con respecto a los elementos anteriormente mencionados.

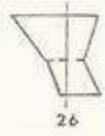
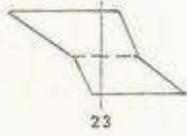
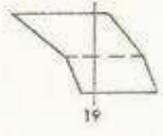
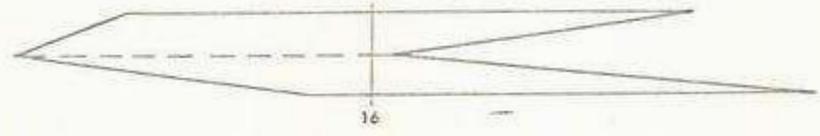
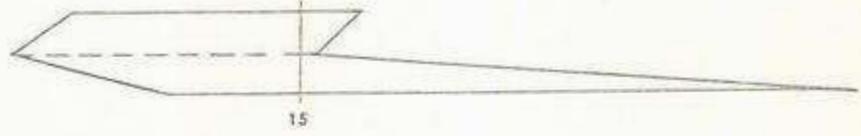
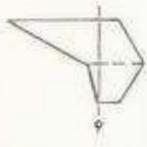
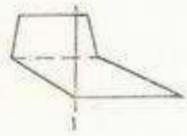
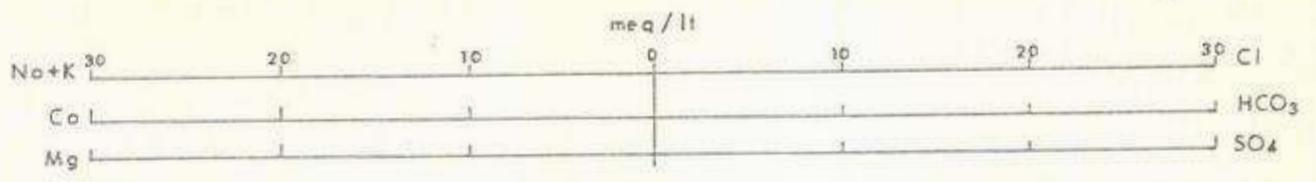


FIGURA 8

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
DIAGRAMAS DE STIFF MODIFICADOS	
TESIS PROFESIONAL JORGE E. CIRETT G. FRANCISCO A. AGUILAR R.	FECHA JULIO 1989 DIBUJO: STR

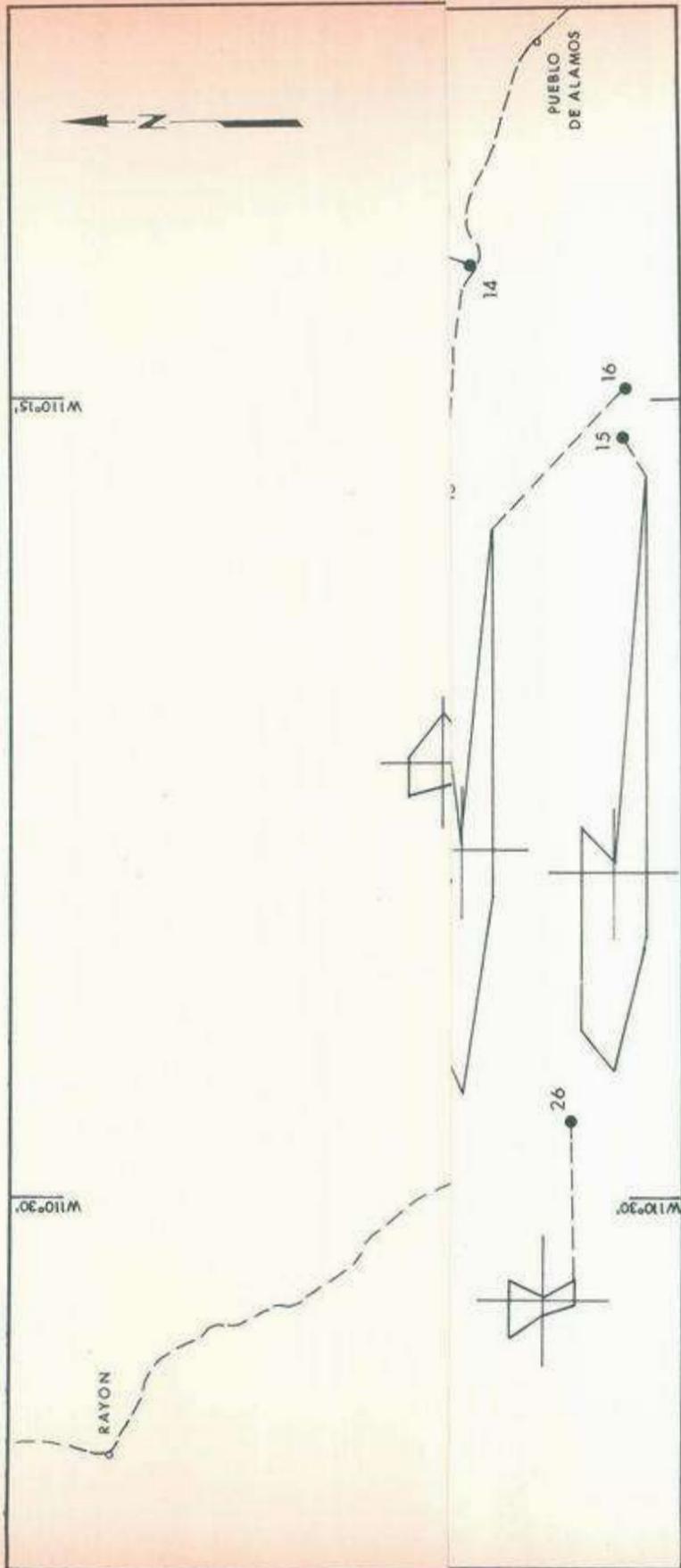


FIGURA 9

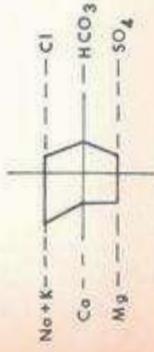
UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

DIAGRAMAS DE STIFF

TESIS PROFESIONAL
JORGE E. CIRETT G.
FRANCISCO A. AGUILAR R. FECHA: JULIO 1989
DIBUJO: STR

DIAGRAMA DE STIFF

1 cm = 5 mlq
CACIONES
ANIONES



0 5 10 Km
1:200000

14 NUMERO DE MUESTRA DE POZO
7 NUMERO DE MUESTRA DE RIOS
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES
UNIVERSIDAD DE SONORA

EL SABER DE ASES JUDOS
UNIVERSIDAD DE SONORA

DIAGRAMAS CIRCULARES

Se usa un círculo de radio proporcional al total de meq/lit disueltos. Este círculo se divide en sectores proporcionales a los porcentajes de los diversos componentes (aniones y cationes). La utilidad de este diagrama es parecida al anterior, en el cual a simple vista se observa la predominancia de los elementos de las muestras tomadas en el área. Se adaptan bien a ser utilizados en planos geohidroquímicos.

En los diagramas circulares de muestras de agua representativas del área (Fig. 10) se observa que los elementos dominantes en estas aguas son el SO_4 y el $\text{Na} + \text{K}$, además se tiene también como elementos dominantes menores el HCO_3 y el Ca . Los diagramas representan un porcentaje de cada elemento, tanto de aniones como cationes. Comparando los diagramas circulares y los de Stiff se observa como en ambos predominan los elementos antes mencionados.

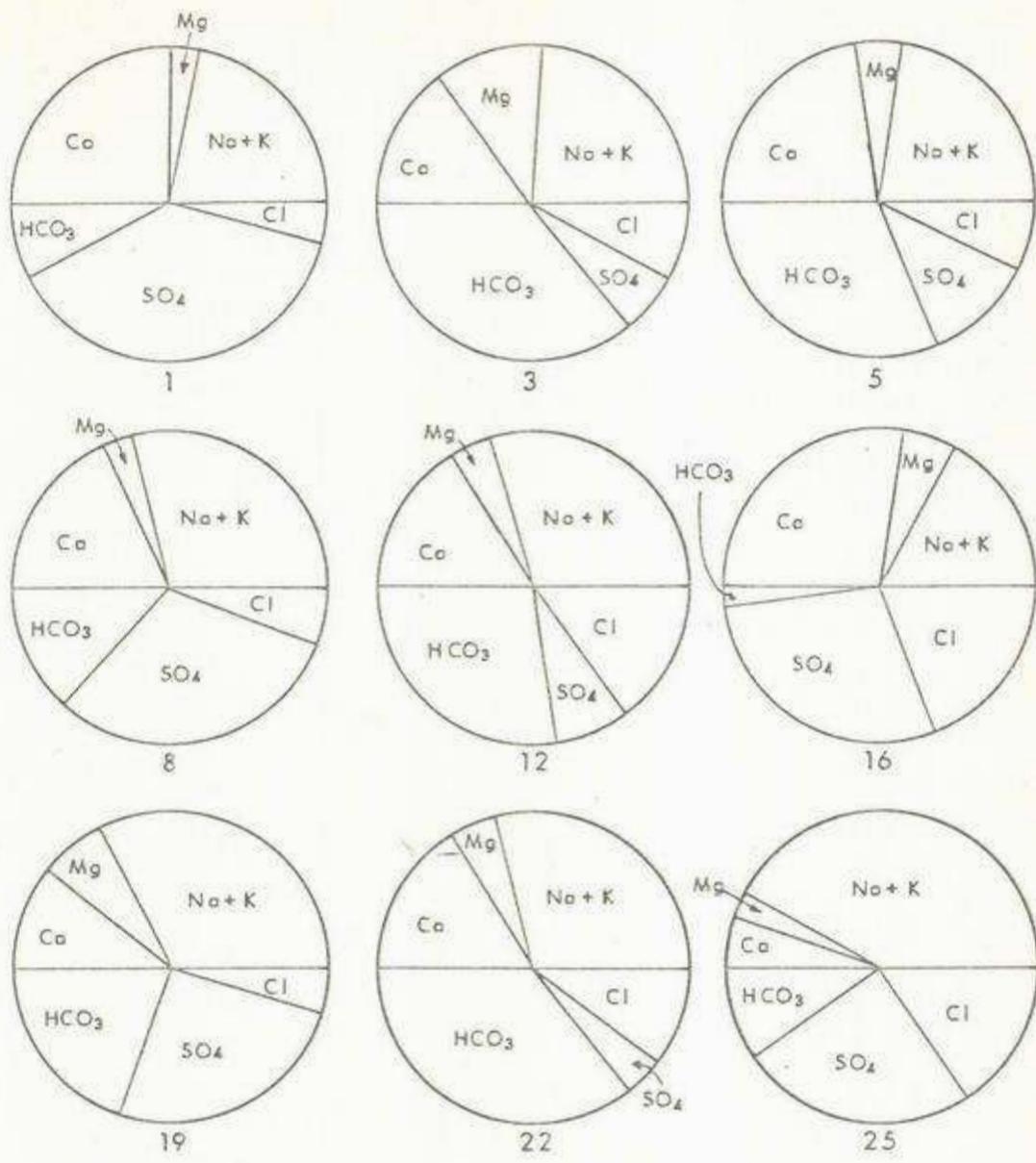


FIGURA 10

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
DIAGRAMAS CIRCULARES	
TESIS PROFESIONAL JORGE E. CIRETT G. FRANCISCO A. AGUILAR R.	FECHA : JULIO 1989 DIBUJO : STR

CLASIFICACION DE WILCOX

Esta clasificación es ampliamente utilizada en aguas destinadas al riego agrícola, esta se basa en las siguientes características:

- 1.- La concentración total de sales solubles expresadas mediante la conductividad eléctrica en micromhos por centímetro a 25°C.
- 2.- La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada como RAS, es la siguiente:

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

A las aguas de un RAS constante se le atribuye un mayor peligro de alcalinización del suelo cuanto mayor es la concentración total. A continuación se detallarán brevemente las características principales del agua de acuerdo a ésta clasificación:

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 salinas. No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun 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 salinas. No son apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero pueden 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. Pueden 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. Estas aguas sólo pueden usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

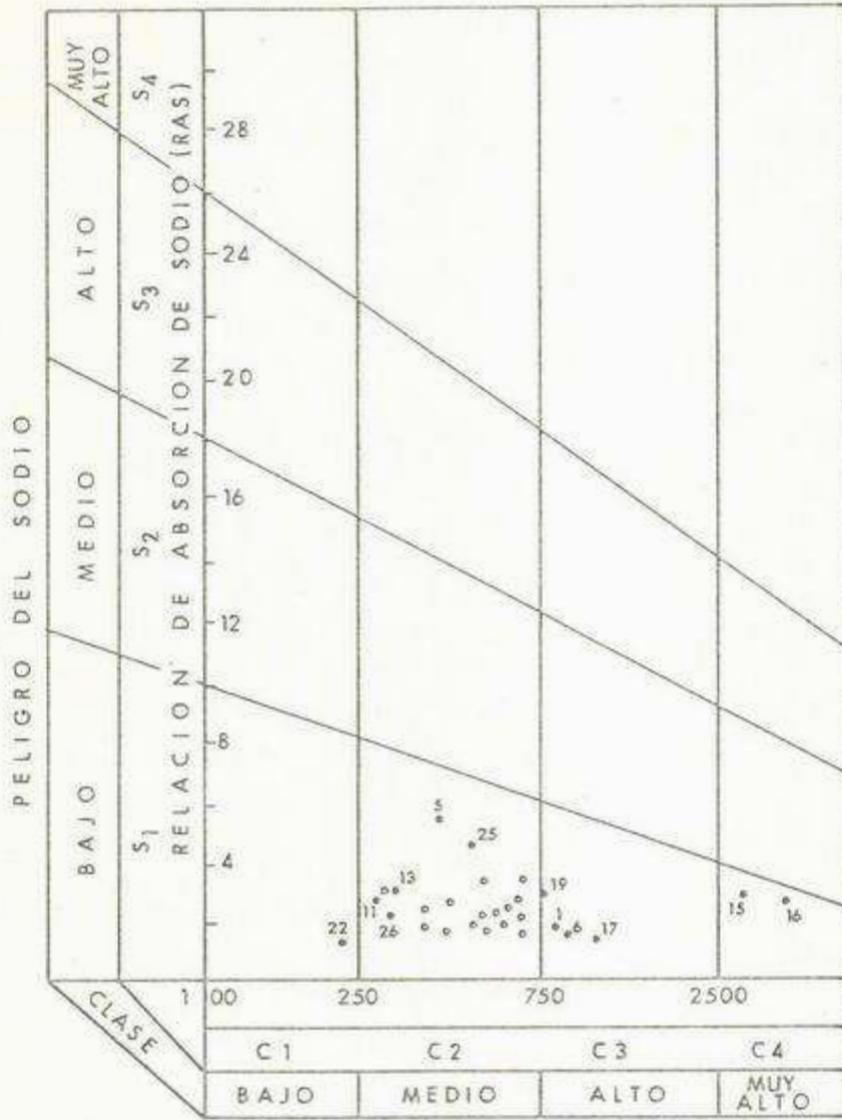
(S3) Aguas altas en sodio. Pueden producir tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que estas necesitarán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio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

(S4) Aguas muy altas en sodio. Son inadecuadas para riego, excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del calcio del

suelo y la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómico el empleo de esta clase de aguas.

De acuerdo a ésta clasificación de aguas para usos agrícolas, la relación de adsorción de sodio y la conductividad eléctrica nos indican que la mayoría de las aguas del área de estudio caen dentro de la clasificación C2-S1 (ver fig. 11), definida para aguas de salinidad media que puede usarse con un grado moderado de lavado, y además bajas en sodio; ésta agua puede ser utilizada para cualquier suelo. En el Cuadro 5 se puede observar la clasificación de cada muestra de acuerdo a la Figura 11.

También se tienen en menor proporción aguas cuya clasificación es C3-S1, que son altamente salinas y que no pueden usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Las muestras #15 y #17 caen dentro de la clasificación C4-S1, las cuales son aguas altamente salinas, que pueden producir niveles tóxicos de sodio. Sólo la muestra #22 quedó dentro de la clasificación C1-S1, que indica aguas óptimas para todo tipo de uso agrícola.



C - CONDUCTIVIDAD EN MICRO-OHMS/cm A 25° C
 PELIGRO DE SALINIDAD

FIGURA 11

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
CLASIFICACION PARA LA CALIDAD DEL AGUA, DE WILCOX	
TESIS PROFESIONAL JORGE E. CIRETT G. FRANCISCO A. AGUILAR R.	FECHA : JULIO 1989 DIBUJO : STR

Cuadro 5 Clasificación de aguas en la zona de estudio en Ures, Sonora de acuerdo al diagrama de Wilcox, (* meq/lt).

Muestra No.	C.E. micromhos/cm	Ca *	Mg *	Na *	RAS	Clasificación
1	800	3.69	0.36	2.00	1.40	C3-S1
2	460	1.97	0.80	1.39	1.17	C2-S1
3	580	1.79	1.21	2.04	1.66	C2-S1
4	590	1.44	1.21	1.65	1.43	C2-S1
5	600	2.95	0.39	1.91	1.47	C2-S1
6	890	3.23	1.20	2.00	1.34	C3-S1
7	660	2.34	0.40	1.82	1.56	C2-S1
8	6400	2.14	0.23	2.43	2.23	C2-S1
9	510	0.65	0.08	3.65	5.96	C2-S1
10	490	1.60	0.26	2.08	2.16	C2-S1
11	320	1.65	0.13	1.56	2.49	C2-S1
12	650	2.135	0.59	2.13	1.82	C2-S1
13	330	1.22	0.18	2.26	2.78	C2-S1
14	420	2.49	0.69	2.17	1.72	C2-S1
15	2900	15.57	7.31	8.87	2.62	C4-S1
16	4090	18.92	3.53	8.00	2.38	C4-S1
17	1100	3.73	1.97	2.13	1.82	C3-S1
18	700	1.14	0.66	3.47	3.65	C2-S1
19	700	3.80	2.10	2.73	1.59	C2-C3S1
20	650	2.31	0.93	2.39	1.87	C2-S1
21	600	2.30	0.41	2.82	2.42	C2-S1
22	230	0.40	0.24	1.17	1.54	C1-S1
23	660	1.32	0.55	3.39	3.05	C2-S1
24	650	1.63	1.21	2.56	2.14	C2-S1
25	550	0.77	0.40	3.56	4.64	C2-S1
26	300	0.98	0.38	2.13	2.57	C2-S1
27	300	0.41	0.34	2.04	3.30	C2-S1
28	550	0.67	0.41	2.78	3.76	C2-S1

PLANOS DE CURVAS DE ISOVALORES O RELACION IONICA

Este tipo de planos tiene como finalidad representar objetivamente (en planta) la distribución espacial aproximada de las propiedades fisicoquímicas del agua de un acuífero determinado. Generalmente se efectúan configuraciones tanto de los principales iones como de las relaciones existentes entre algunos de ellos, así como de otras características tales como la resistividad, sólidos totales disueltos, dureza y temperatura.

La configuración se efectúa vaciando sobre el plano el valor de la concentración o relación iónica correspondiente a cada uno de los lugares muestreados y uniendo con una curva continua los puntos de igual valor interpolando entre los valores conocidos, obteniéndose de esta forma una serie de curvas que constituyen la configuración a analizar

Con base en el análisis individual y de conjunto de estos planos, es posible establecer en forma cualitativa las direcciones predominantes del flujo subterráneo, zonas de recarga y de descarga, así como correlacionar cuando es posible la calidad del agua en los tipos de formación por los que hubiera podido circular.

Dentro de los métodos de estudio utilizados en el área de estudio se usaron los planos antes mencionados.

Conductividad eléctrica.

La concentración total de sales solubles en las aguas utilizadas con fines agrícolas, para fines de diagnóstico y de clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica.

Casi todas las aguas para riego que se han usado por mucho tiempo tienen una conductividad eléctrica menor de 2,250 microhms/cm. Ocasionalmente se usan aguas de mayor conductividad, pero los resultados obtenidos no han sido satisfactorios, excepto en raras ocasiones.

Un suelo es salino cuando la conductividad de su extracto de saturación es mayor de 4,000 microhms/cm. Este aumento en la concentración de sales es el resultado de la extracción continua de humedad por las plantas y por la evaporación. Por lo tanto, el uso de aguas entre moderadas y altamente salinas, puede ser la causa de que se desarrollen condiciones de salinidad, aun cuando el drenaje sea satisfactorio. Lo anterior está ligado de manera importante en la clasificación de Wilcox por ser la C.E. un parámetro importante en dichas clasificación.

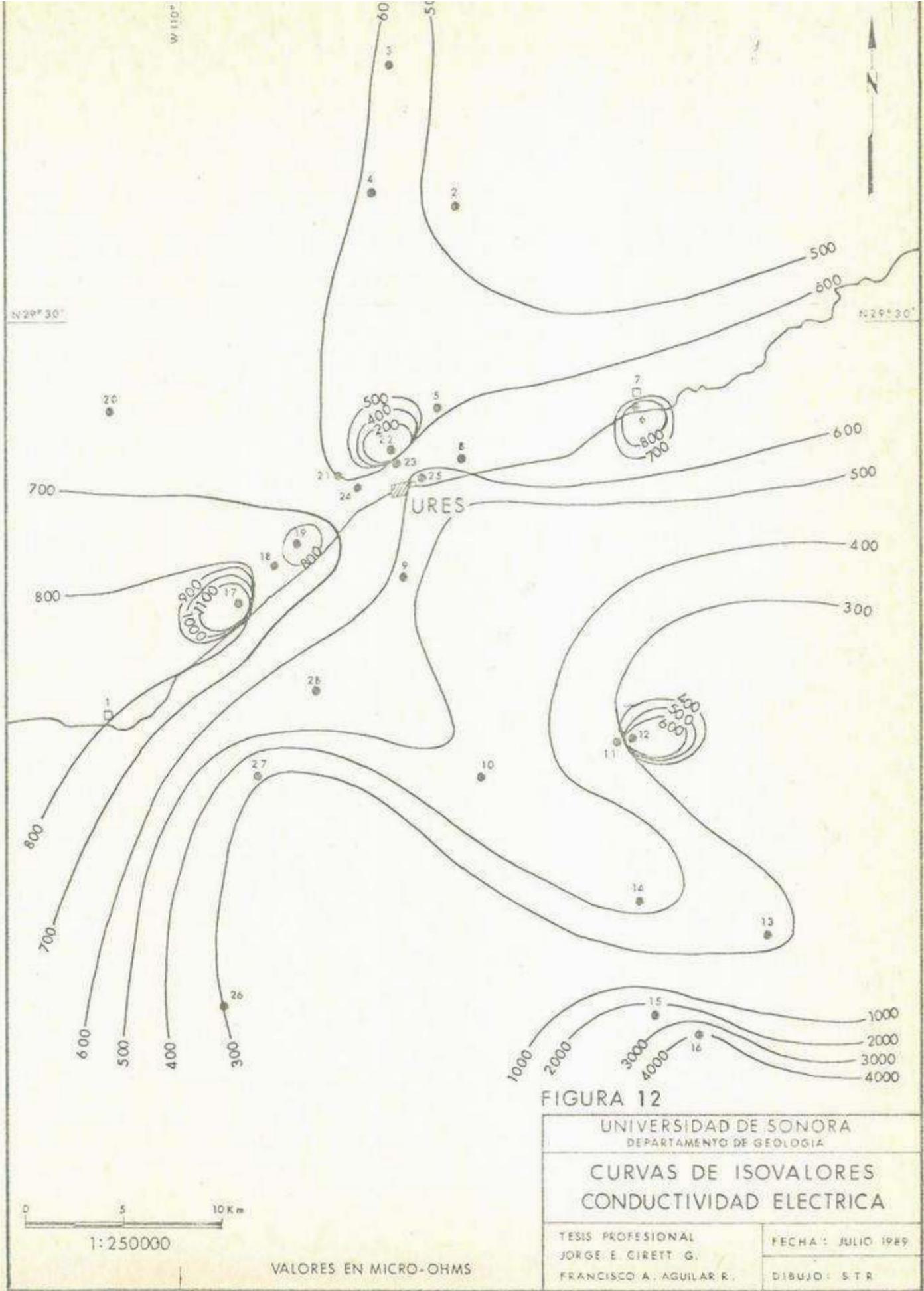
En general las aguas cuya conductividad eléctrica sea menor de 750 micromhos/cm son satisfactorias por lo que respecta a sales, las aguas cuya conductividad eléctrica varía entre 750 y 2,500 micromhos/cm son comúnmente utilizadas, obteniéndose resultados aceptables, siempre y cuando haya un buen manejo de la tierra y un drenaje eficiente; sin embargo, las

condiciones de salinidad se presentarán si el lavado y drenaje no son adecuados. El empleo de aguas con conductividad eléctrica mayor de 2,250 microhms/cm es una excepción y rara vez se obtienen buenos resultados. (Richards, 1977)

La conductividad eléctrica sirve, además para determinar el comportamiento subterráneo de las aguas en un área determinada, con el presente estudio nos ayudó a determinar el origen de la recarga del acuífero en el valle.

La conductividad eléctrica de las aguas en el área de estudio varía en promedio entre los 230 y 4,090 microhms/cm (Cuadro 1). Por lo mencionado la mayor parte de las aguas del área de estudio, a excepción de las muestras #15 y #16 y en menor proporción la #17, son óptimas para el uso agrícola siempre y cuando se tengan las precauciones adecuadas en su manejo.

En el plano correspondiente a conductividades eléctricas (Fig. 12), tenemos que el incremento de los valores en las curvas es en dirección del Río Sonora, tanto de la parte N y S del área de estudio, esto coincide con el comportamiento de la Red Hidrográfica del Valle de Ures. Dicho comportamiento nos permite determinar que el río es la principal recarga del acuífero en el área, al menos en la parte central del valle, donde se encuentra la actividad agrícola



El cambio de sentido en el incremento de valores es debido principalmente al período del año en que fueron tomadas las muestras del presente estudio, ya que en tiempo de lluvias los valores sufren un incremento al alejarse del río y en tiempo de secas el incremento es en dirección del río.

Hacia el SE del área se observa un cambio en la dirección con respecto al incremento de valores, lo que hace suponer la presencia de un parteaguas subterráneo que está relacionado con el comportamiento de la Red Hidrográfica del área, en el cual se observa un cambio de drenaje superficial con dirección a Santa Rosalía.

Planos de Residuos Secos (STD).

La configuración de curvas de igual contenido de sales disueltas, nos dan una idea del tipo de agua que existe en una región ya que está estrechamente relacionada con la conductividad como puede observarse en la siguiente tabla.

Tabla #3. Relación entre sólidos totales disueltos y la conductividad (Hem, 1970-Tinajero, 1982)

Tipo de agua	STD			(Micromhos/cm)
Agua Dulce (Fresh Water)	0	a	3000 ppm	0.05-30
Agua Salobre (Brackish Water)	3000	a	10000 ppm	30-5000
Agua Salada (Salt Water)	10000	a	100000 ppm	45000-55000
Salmuera (Brine)	Mas	de	100000 ppm	100000

El contenido de STD en las aguas es muy importante, a parte de la relación que guarda con la conductividad eléctrica, un alto contenido en los sólidos totales disueltos indica una mayor concentración de sales, lo que influye en un mayor peligro de salinidad.

Esto es importante por que hay que tomar en cuenta que la fuente más común para transportar las sales son las aguas tanto superficiales como subterráneas, y su concentración dependerá de las existentes en el suelo y en los materiales geológicos que han estado en contacto con ellas.

Otro factor importante y que se encuentra relacionado de manera importante a la cantidad de STD es el clima. En general los suelos con altas concentraciones de sales se encuentran principalmente en las zonas de clima árido y semi-árido donde las bajas precipitaciones pluviales no alcanzan a efectuar la lixiviación de las sales. En estas zonas donde la lixiviación es poca, las sales solubles no pueden ser transportadas muy abajo, por la baja precipitación pluvial y alta evaporación.

Así mismo el comportamiento de los valores de las STD en un plano nos permite, al igual que el plano de C.E., seguir el comportamiento de las aguas en una área determinada. En la tabla #4 tenemos los resultados de sólidos totales disueltos de las muestras tomadas en el área de estudio.

Tabla #4 Solidos totales disueltos.

No. Muestra	STD(ppm)	No. Muestra	STD(ppm)	No. Muestra	STD(ppm)
1	660	11	308	21	590
2	445	12	463	22	323
3	455	13	390	23	588
4	603	14	498	24	638
5	480	15	2,553	25	575
6	685	16	4,040	26	445
7	483	17	868	27	393
8	420	18	578	28	495
9	340	19	678		
10	338	20	535		

En base a los resultados anteriores podemos determinar que las aguas en el área de estudio son buenas para el uso agrícola (a excepción de las muestras #15 y #16) sin que se presenten problemas de salinidad, esto va a estar condicionado principalmente al cuidado en el manejo del agua de riego y drenaje. Las muestras #15 y #16 con valores mayores de 2500 ppm en STD no son recomendables para su utilización ya que producirían efectos tóxicos por su alto contenido de sales.

Hay que mencionar también que el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie, lo que podría tomarse en consideración en aquellos lugares en que las concentraciones de STD tienden a aumentar con respecto a otras áreas. En la figura 13 podemos observar un comportamiento parecido al del plano C.E., esto es debido a la estrecha relación entre STD y la C.E.

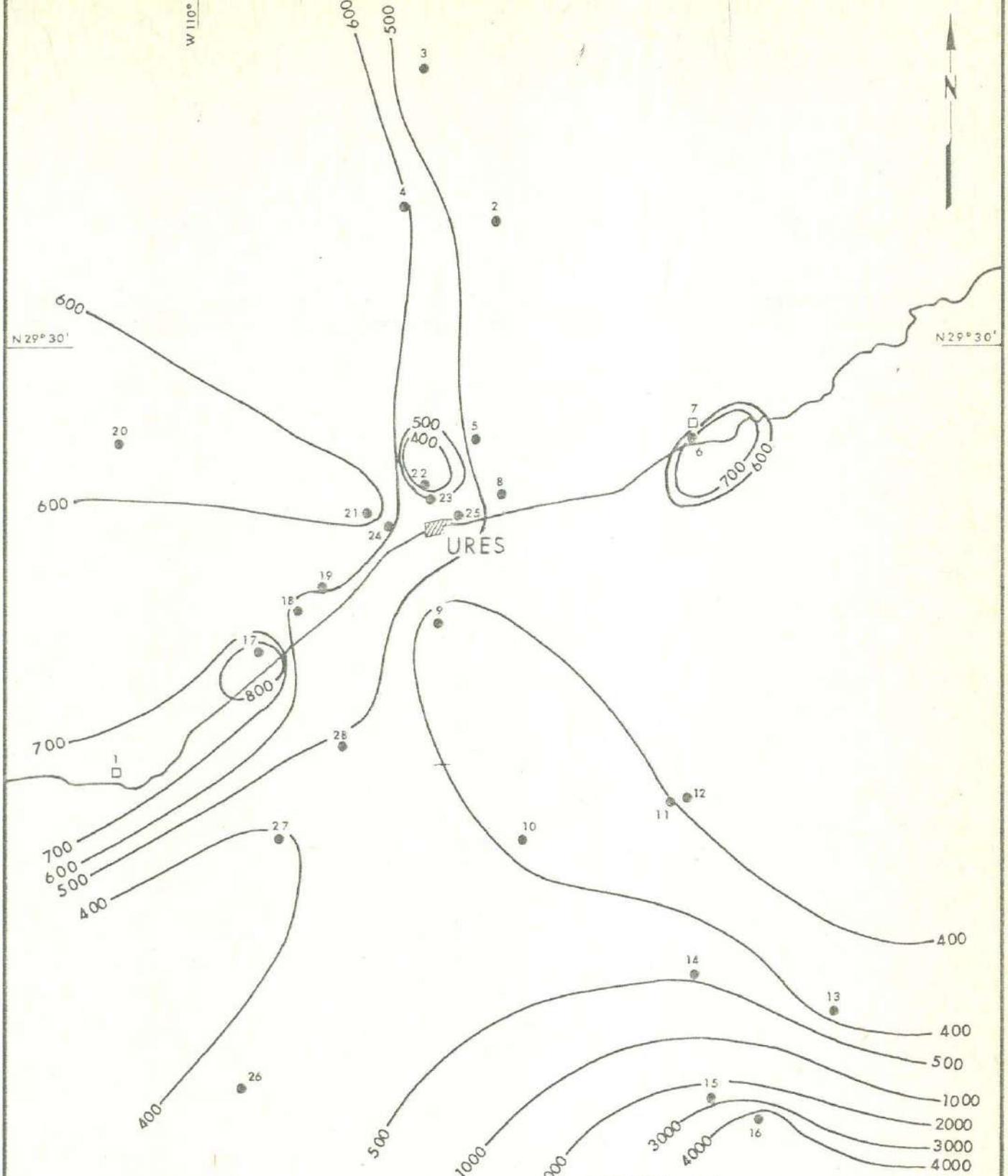


FIGURA 13

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

CURVAS DE ISOVALORES
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS

TESIS PROFESIONAL
JORGE E. CIRETT G.

FRANCISCO A. AGUILAR R.

FECHA : JULIO 1989

DIBUJO : S T R

0 5 10 Km
1: 250000

VALORES EN ppm

Plano de isobicarbonatos.

En aguas ricas en iones bicarbonato existe la tendencia del calcio y del magnesio a precipitarse en forma de carbonatos a medida que la solución del suelo se vuelve mas concentrada. Esta reacción no se completa totalmente en condiciones ordinarias, pero a medida que va tomando lugar, las concentraciones de calcio y magnesio se van reduciendo, aumentando así la proporción relativa de sodio.

Hay un factor importante en este proceso que es el valor del pH, tomando en cuenta que el ión carbonato se encuentra en cantidades considerables en pH, 8.5 o mayor. Por esta razón el agua que contiene CO_2 es un gran agente intemperizante que libera una gran cantidad de elementos en forma de bicarbonatos.

En base a lo anterior se observa que el área presenta un pH que varía de 6.5 a 8.5 lo indica que por parte de los bicarbonatos no hay peligro de aumento de sodio ya que el total de muestras, a excepción de la #3, no pasan del 8.5.

Los datos de bicarbonatos en un plano del área de estudio nos sirven para determinar ciertas características ligadas a las concentraciones de HCO_3^- .

En el plano de isobicarbonatos (Fig. 14), se observa como la casi totalidad de las muestras quedan comprendidas entre el rango 1.0 y 3.0 que abarca el total del área, a excepción de la parte SW del área donde las muestras #26 y #15 son menores que 1.0. Se puede distinguir como la concentración de este ión aumenta a medida que se aleja de la corriente del río. Los incrementos de bicarbonato se tienen en la parte central del área donde se concentra el mayor número de muestras. Además se observa un aumento de HCO_3 con la profundidad del nivel freático, lo que pudiera estar relacionado a la probable presencia de capas carbonatadas en los sedimentos tipo terrazas que cubren la parte central del área. La muestra #12 presenta un valor menor que 0.5, pero es muy poco representativa ya que fue obtenida del tiro de una mina abandonada.

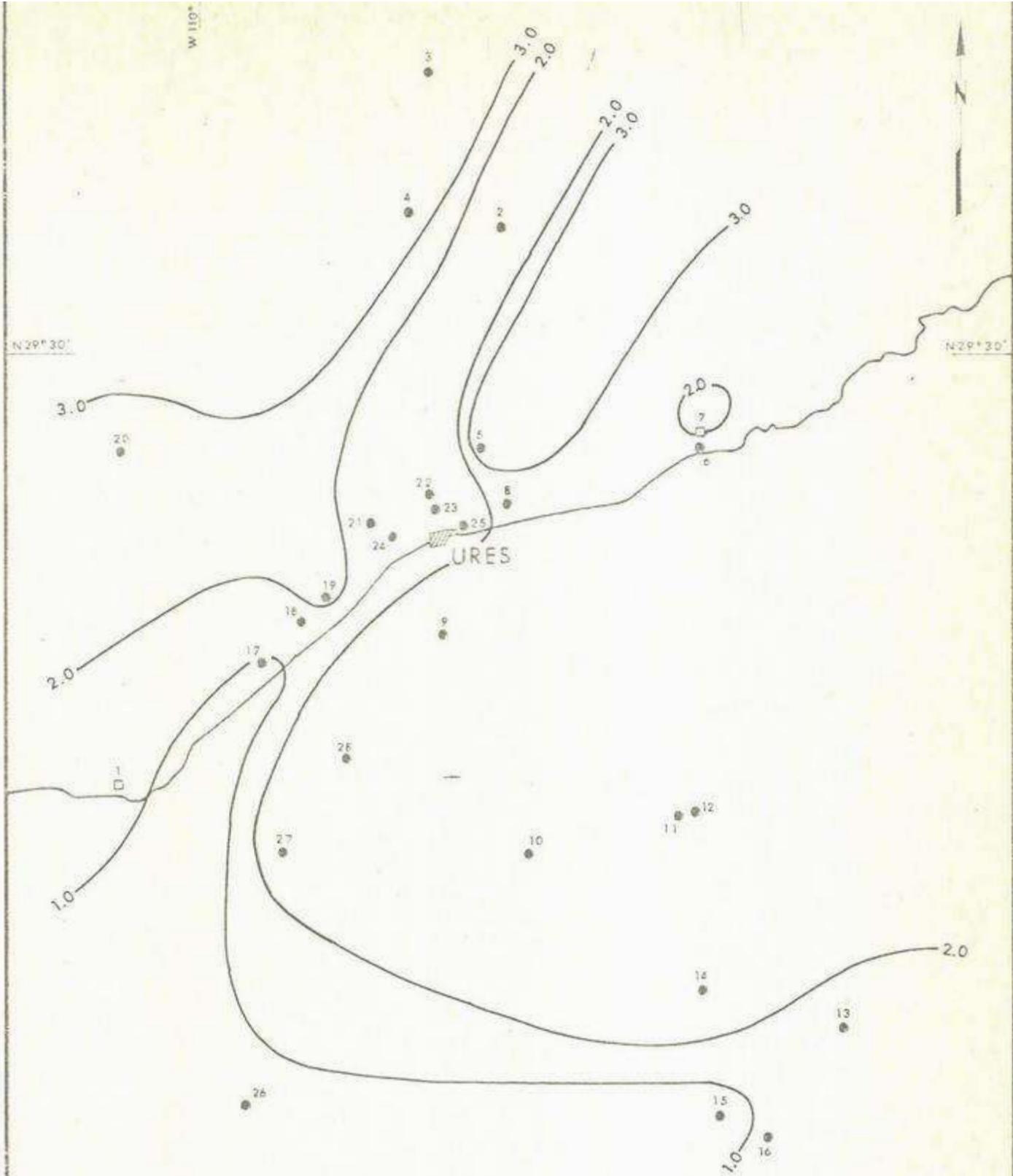


FIGURA 14

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
CURVAS DE ISOVALORES BICARBONATOS HCO_3 (meq/l)	
TESIS PROFESIONAL JORGE E. CIRETT G. FRANCISCO A. AGUILAR R.	FECHA : JULIO 1989 DIBUJO : S.T.R.

Planos de Relación rMg/rCa

Esta configuración nos permite seguir la evolución del acuífero. En las aguas subterráneas normalmente la relación rMg/rCa presenta 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 rápida que la de CaSO_4 . Esta relación tiene variación también de acuerdo a las estructuras de los acuíferos. Tenemos las siguientes características que nos indican los valores de la relación Mg/Ca.

- En aguas continentales varía entre 0.3-1.5
- Valores cercanos a 1 indican posible influencia de terrenos dolomíticos
- Relaciones mayores que 1 indican terrenos ricos en silicatos magnésicos como gabros y basaltos
- En terrenos con calizas y disolución existen valores pequeños

Además tenemos los valores de la relación $\text{rMg}^{++}/\text{rCa}^{++}$ de acuerdo a las rocas de los acuíferos. (Hsu, 1963)

	$\text{rMg}^{++}/\text{rCa}^{++}$
Acuíferos Calizos	0.5 - 0.7
Acuíferos Dolomíticos	0.7 - 0.9
Acuíferos Silicatados	0.9

El plano de la relación rMg^{++}/rCa^{++} (Fig. 15), nos permite ver como la configuración de las curvas tienen un incremento de valor en la relación hacia la parte N-NW y SW del área de estudio, como el agua aumenta su concentración de Mg a medida que circula, y las partes antes mencionadas se encuentran topográficamente más elevadas, podemos inferir que tienen poca influencia sobre las aguas del río que alimentan. Así mismo esta relación nos permite hacer algunos comentarios al respecto de las características de las aguas:

- Son aguas continentales en su totalidad, ya que el valor de las relaciones no son mayores de 1.5
- Así mismo valores cercanos a 0.9 en las muestras indican posible influencia de terrenos dolomíticos
- Valores entre 0.5 y 0.7 pueden estar influenciados por la presencia de calizas y Ca en solución.

Los resultados anteriores pueden ser poco representativos, ya que el agua al circular apenas interacciona con el terreno y mantiene la configuración química adquirida en el lugar donde se lleva a cabo la infiltración. Por lo que a veces los resultados de las relaciones no coinciden con las características del lugar donde se tomó la muestra.

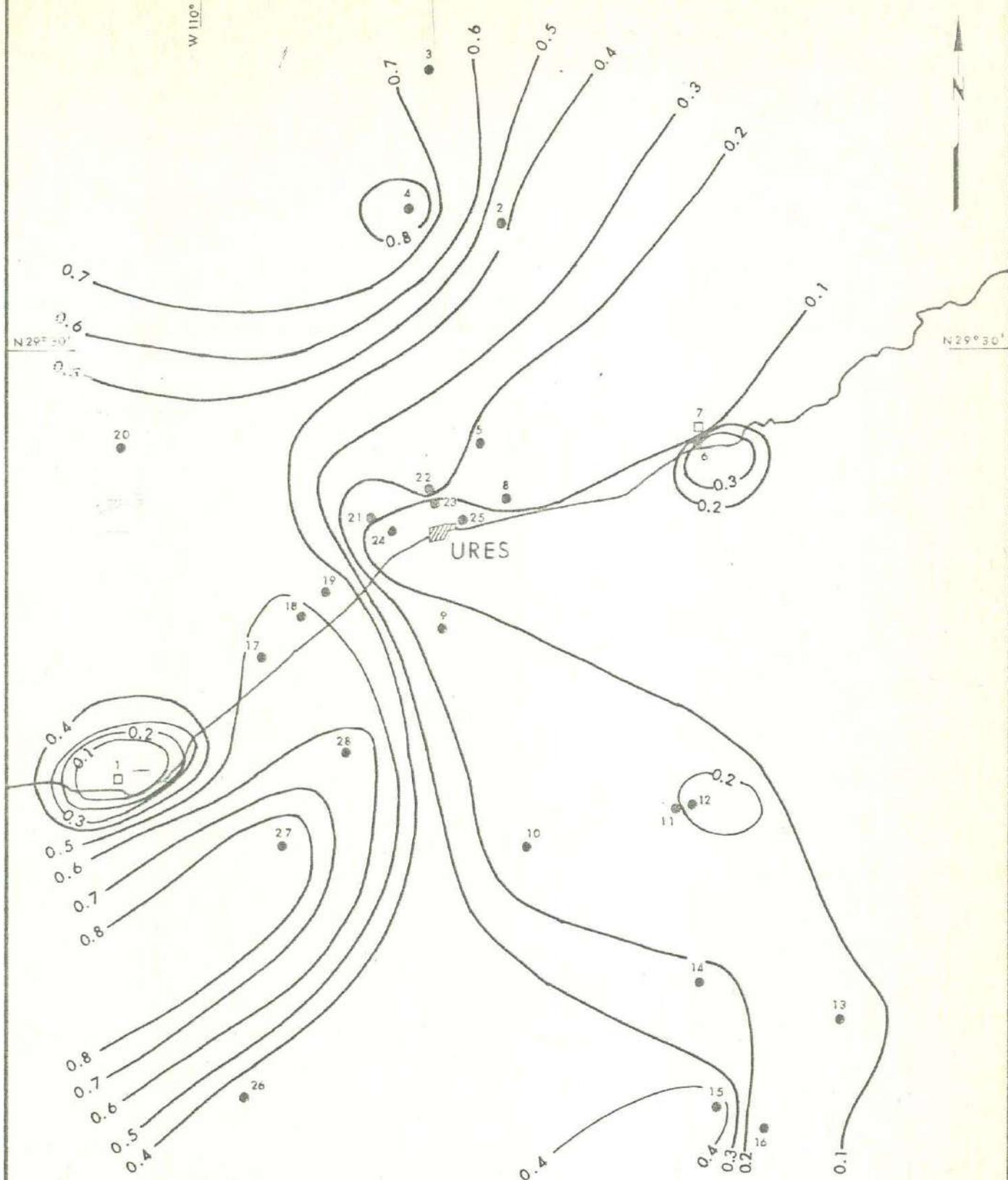


FIGURA 15

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

CURVAS DE ISOVALORES
RELACION $r Mg^{++}/r Ca^{++}$

TESIS PROFESIONAL
JORGE E. CIRETT G.
FRANCISCO A. AGUILAR R.

FECHA: JULIO 1989
DIBUJO: S T R

Planos de relación rSO_4/rCl^- .

Comúnmente en los acuíferos 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 si es rico en sulfatos y relativamente pobre en cloruros, se verifica el proceso anterior en sentido inverso, a aumentando en el sentido del flujo. Esto es lo que sucede en el área de estudio, ya que el agua de la misma es rica en sulfatos. 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 . (Carrasco, 1987)

En el plano de la relación rSO_4/rCl (Fig. 16), 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. Se observan cambios rápidos en los valores de las muestra #21 y #24, #23 y #25, también #17 y #18, teniéndose en el resto del área un cambio mas gradual. Tomando en cuenta la abundancia de sulfatos podemos entonces inferir que la dirección de flujo es hacia el río.

Hacia la parte SE del área se observa un cambio con respecto a esta relación lo que viene a confirmar lo mencionado anteriormente sobre la presencia de un parteaguas superficial y uno subterráneo.

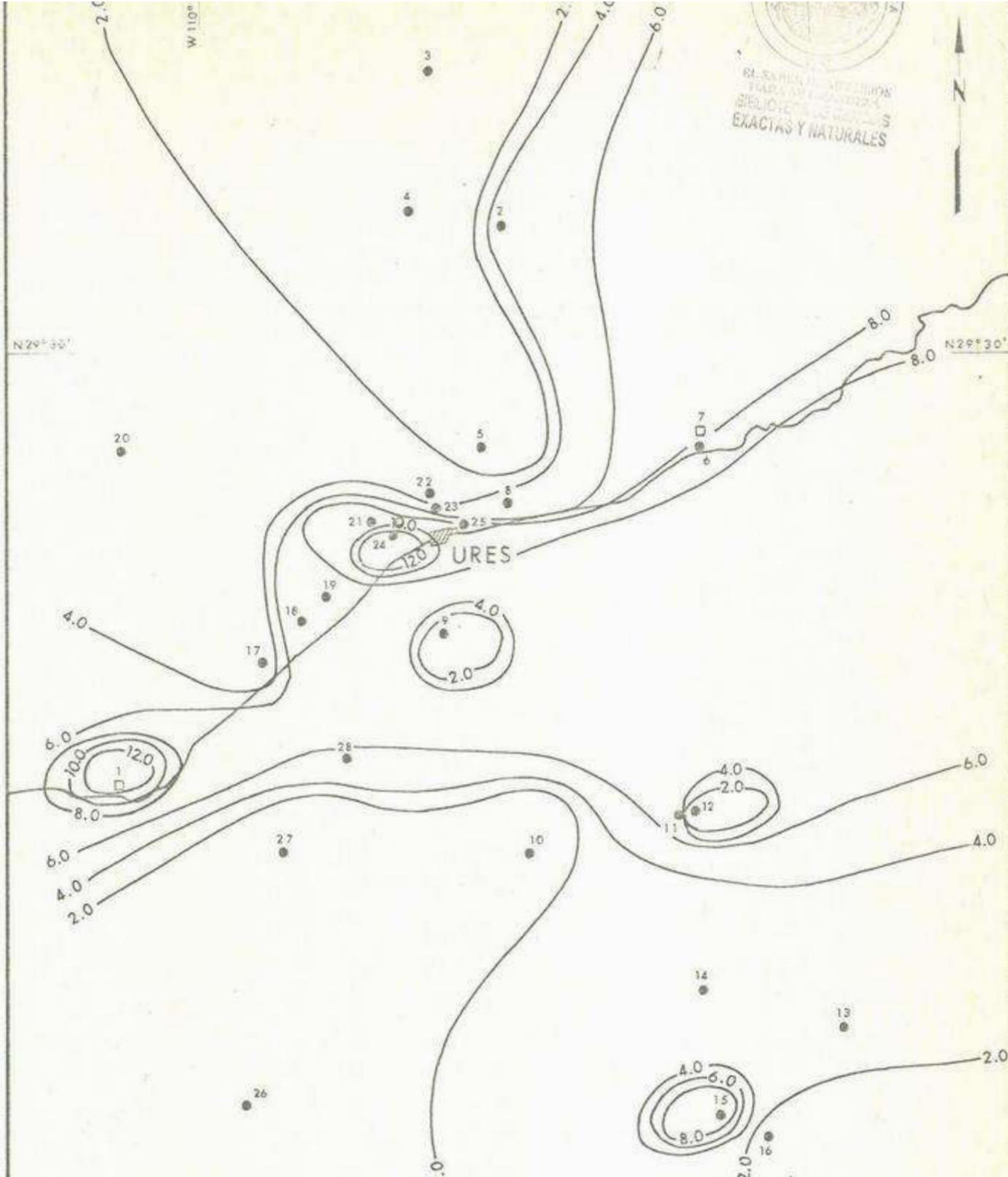


FIGURA 16

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
CURVAS DE ISOVALORES RELACION rSO_4/rCl	
TESIS PROFESIONAL JORGE E. CIRETT G.	FECHA : JULIO 1989
FRANCISCO A. AGUILAR R.	DIBUJO : S T R

Planos de relación $rNa^+ / (rNa^+ + rCa^{++} + rMg^{++})$

Esta configuración nos permite seguir el incremento de sodio relativo a la salinización, este porcentaje de sodio es un índice agrícola (Wilcox), (Correu y Andrade 1974).

En este plano (Fig. 17) podemos observar la dirección de incremento de sodio hacia las muestras localizadas en la parte central del río, donde está la mayor parte ellas. Los resultados del plano coinciden con los de la clasificación de Wilcox en donde las aguas son en su mayoría C2S1, teniendo presencia de sodio en niveles tolerables no habiendo probabilidad de alcanzar niveles peligrosos.

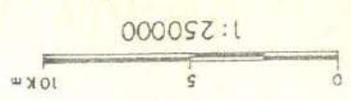
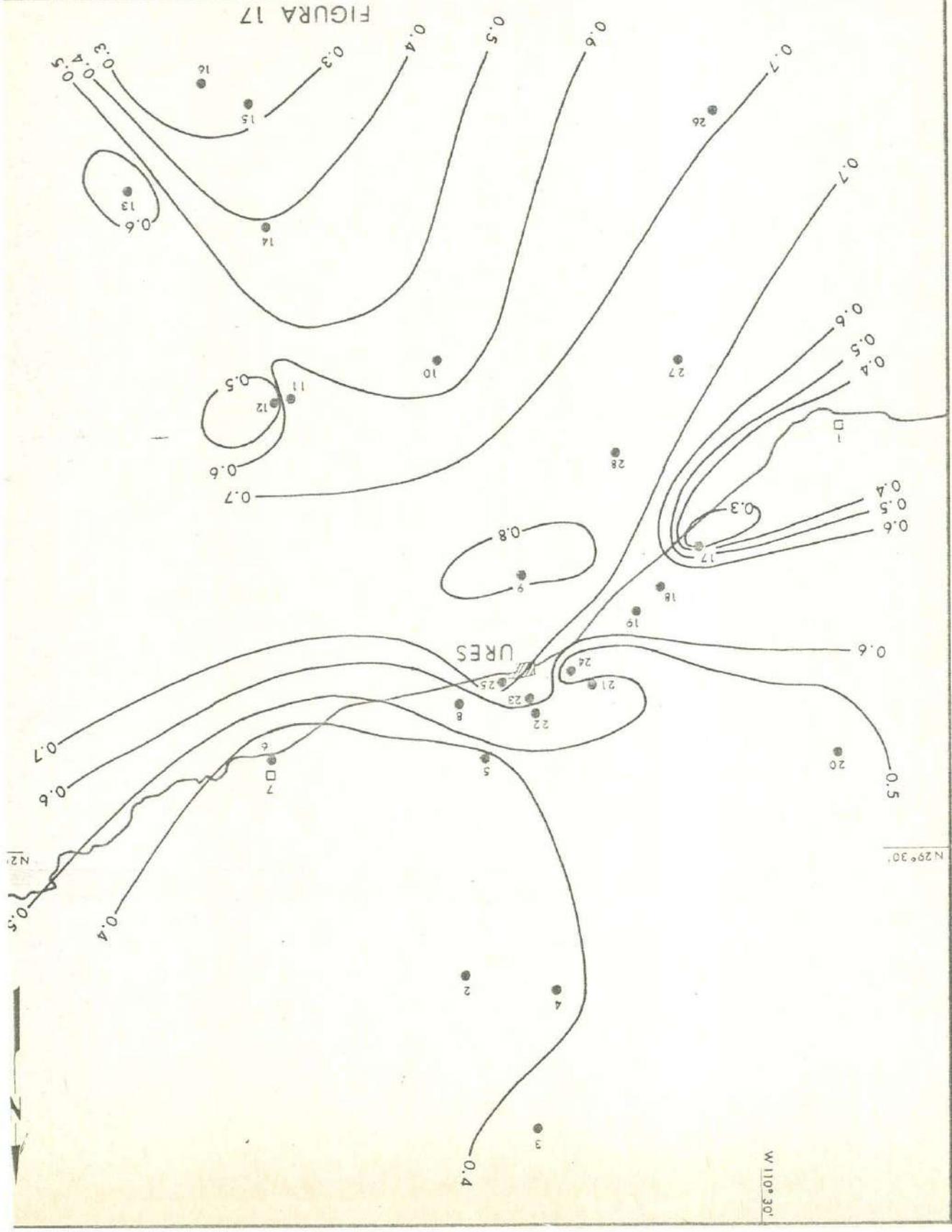


FIGURA 17



BORO

Con respecto al contenido de boro en las aguas del área de estudio, se tuvo problemas para determinar su contenido exacto ya que los resultados del laboratorio de la Escuela de Agricultura y Ganadería y el del BTU de la Escuela de Ciencias Químicas, por lo que dicha información se tomó con cierta reserva.

Hay que hacer notar que los resultados de ambos análisis coinciden proporcionalmente, encontrándose los valores más altos de ambos análisis en el mismo lugar (muestras #15 y #16). Esta información es consistente con la geología del lugar donde se tomaron las muestras, que fue en sedimentos de la formación La Puerta del Sol, en la que se tienen evidencias de boratos.

Los niveles presentes de boro son aceptables para la agricultura, pudiéndose utilizar estas aguas para riego con las condiciones necesarias descritas en la clasificación de aguas (Wilcox). Las dos muestras que presentaron valores altos son la #15 y 16, donde el nivel es tóxico para la mayoría de cultivos por lo que no se recomienda la utilización de estas aguas.

CONCLUSIONES

1. Se presenta la cartografía geológica escala 1:100,000 del Valle de Ures.
2. Se confirma la presencia de sedimentos del Paleozoico inferior al identificar rocas litológica y faunísticamente correlacionables con las formaciones Cuarcita Proveedora, Buelna y Cerro Prieto del Cámbrico Inferior a Medio del área de Caborca.
3. Se reporta por primera vez en el área la presencia de sedimentos clásticos pos-Pérmicos de posible edad Triásico-Jurásico. Se le asigna el nombre de formación Peñasco Verde.
4. Se identificaron rocas vulcanosedimentarias de posible edad Cretácico Superior-Terciario Inferior.
5. Se designó como Formación Puerta del Sol a una secuencia de capas rojas con facies lacustres y rocas volcánicas intercaladas de posible edad Oligoceno-Mioceno Medio.
6. Se identificaron rocas conglomeráticas semiconsolidadas atribuibles a la formación Báucarit, con un rango de edad probable del Mioceno Medio a Plioceno.

7. Se identificaron rocas volcánicas de composición Bimodal de probable edad Mioceno tardío a Plioceno.
8. El acuífero en el área de estudio se encuentra localizado en sedimentos poco consolidados a los que se llamó terrazas, y pertenece al tipo de acuífero libre, mismo que recibe como recarga principal los volúmenes del Río Sonora y hacia la parte N y NW del área de los arroyos Morales y Sunibiate, en forma superficial y subterránea.
9. Hacia la parte SE del área se infiere un cambio en la dirección del flujo subterráneo, lo que indica la presencia de un parteaguas subterráneo.
10. De la interpretación de diagramas de Piper, circulares y de Stiff resulta evidente la predominancia de los sulfatos y el sodio.
11. Con los planos hidrogeoquímicos se determinó la evolución química del agua, observándose que en la parte central del área la dirección del flujo subterráneo es alejándose del río Sonora. Esto hace inferir que el río es la principal recarga del acuífero, al menos para la sección antes mencionada.
12. En la zona existen familias de aguas bien definidas encontrándose aguas sulfatadas sódicas, sulfatadas cálcicas así como en menor proporción bicarbonatadas sódicas y cálcicas.

13. 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 toda el área, a excepción de dos muestras al SE del área que clasificaron como C4-S1.

14. El problema principal con respecto a la salinidad en el valle es relacionado al nivel freático cercano a la superficie y a la alta concentración de sólidos totales disueltos, principalmente cerca del Río Sonora. Provocando que la evaporación del agua deposite alta cantidad de sales en la superficie.

15. La presencia de altos valores de boro al SE del área se debe a la presencia de boratos que se encuentra en la formación Puerta del Sol.

RECOMENDACIONES



1. Realizar la cartografía y estudio a detalle de los sedimentos del Grupo San José y Formación Peñasco Verde.
2. Fechar las rocas volcánicas intercaladas en la Formación Puerta del Sol y las que sobreyacen a la Formación Báucarit.
3. Realizar estudios palinológicos en los sedimentos terciarios del area.
4. Hacer un estudio mediante técnicas geofísicas de magnetometría y/o resistividad, así como la elaboración de registros eléctricos de los pozos para establecer la profundidad y espesor del acuífero, y el espesor de los sedimentos terciarios en el valle..
5. Llevar a cabo obras de piezometría, con un control de mediciones de las variaciones de niveles freáticos, y referenciarlos al nivel del mar.
6. Realizar una mayor cantidad de muestreos y análisis químicos de las aguas para estudiar la evolución de la calidad y comportamiento real del acuífero.

BIBLIOGRAFIA

- Arriaga H., Peña L., 1983. Resultados de Evaluación del Depósito de Boratos del Area Tubutama. Consejo de Recursos Minerales, Gerencia de Estudios Especiales.
- Carrasco, L.J., 1987. Estudio Hidrogeoquímico preliminar de la parte central del acuífero de Ures, Sonora. Tesis Profesional, Escuela Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Castro A. y Morfin S., 1988. Geología de la Carta Rayón, con Enfasis en el Area Cerro de Oro. Tesis de Licenciatura Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Cooper G.A., et al. 1952. Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, Northwest Sonora, Mexico. Smithsonian Miscellaneous Collections, V. 119 No. 1, 184 p.
- Correu, T.G. y Andrade J.V., 1974. Manual para el Alumbramiento de Aguas Subterráneas. Banco de México, FIRA. México, D.F.
- Custudio, C.E. 1968. Hidrogeoquímica. Curso de Hidrología Subterránea. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Autónoma de Nuevo Leon.
- Damon, P.E., Compiler, 1964. Correlation and Chronology of Ore Deposits and Volcanic Rocks: Annual Progress Report COO-689-4 Contract AT (11-1)-689 to U.S. Atomic Energy Commission: Tucson, Geochronology Labs., Univ. Arizona, 28 p.

Damon, P.E. (1975). Dating of Mesozoic Cenozoic Metallogenetic Provinces, Reserve Project Between Laboratory of Isotope Geochemistry and Departamento de Recursos Naturales no Renovables, Archivo C.R.M.N.R., Dirección General.

Damon P.E. and Clark K.F., 1981. Geochronological Studies within the Sierra Madre Occidental Geol. Soc. Amer., Abstr. with progr., Cordill. Selt., P. 51 Hermosillo, Sonora, México.

Damon P.E. et al 1983. El Batolito Laramide (90-40 M.A.) de Sonora Asociación de Ing. de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A.C. Memoria XV Convención Nacional p. 63-95 Guadalajara, Jalisco, México

Davis, S.N. y DeWiest, R., 1971. Hidrogeología Editorial Ariel

Dumble, E.T. (1900). Notes on the Geology of Sonora, Mexico Amer. Inst. Min. Eng. Trans. 29, p. 127-152.

Eberly, L.D. and Stanley, T.B. (1978). Cenozic Stratigraphy and Geologic History of Southwestern Arizona Geological Society of America Bulletin, V. 89, p. 921-940, Doc. no. 80610.

Flores T., 1929. Reconocimientos Geológicos en la Región Central del Estado de Sonora Instituto Geológico de México.

García, G.P. y Salazar J.Z., 1986. Correlación Físico-Químico entre los acuíferos calizos y granular de Bustamante, Nuevo Leon. Tesis Mimeografiada, Departamento de Geología, Universidad de Sonora

Gilmont N.L., 1978. Geology of the Puerto La Bandera Area, Sonora, México Master of Science Thesis. Northern Arizona University.

- González C., 1988. Estratigrafía del Area de Cerro de Oro, Sonora
Resúmenes de la 14va. Semana de la Escuela de Geología,
Universidad de Sonora.
- King, E.R. (1939). Geological Reconnaissance in Northern Sierra Madre
Occidental of Mexico. Bull. Geol. Soc. Amer., V. 50, p.
1625-1722.
- McDowell F.W. and Clabaugh S.E., 1981. The Igneous History of the Sierra
Madre Occidental and its Relation to the Tectonic Evolution of
Western Mexico. Revista del Instituto de Geología de la UNAM,
Vol. 5, num. 2, p. 195-206.
- Menicucci (1975). Reconnaissance Geologique et Minière de la Region entre
Hermosillo et le Rio Yaqui, Sonora Central, Mexique. These,
Bème Cycle, Grenoble, 210 p.
- Peabody C.E. 1979. Geology and Petrology of a Tungsten Skarn: El
Jaralito, Baviácora, Sonora, México Master of Science Thesis.
Stanford University.
- Radelli, 1986. An Essay on the Southern Basin and Range Boletin del
Departamento de Geología, UNISON Hermosillo, Sonora, México.
- Raiz E., 1964. Landforms of México. Morphological Map Prepared for the
Geography Branch of the Office of Naval Research Cambridge,
Mass., U.S.A.
- Rangin C. 1982. Contribution a L'étude Géologique du Système Cordillérain
du Nord-Ouest Du Mexique, 588 pages. Thèse, Univ. Paris Vi,
France

Scarborough, Robert and Wilt, Jan Carol (1979). A Study of Uranium Favorability of Cenozoic Sedimentary Rocks. Basin and Range Province, Arizona Part I. General Geology and Chronology of Pre-Late Miocene Cenozoic Sedimentary Rocks.

Segundo Simposio sobre Geología y Minería de Sonora. Excursiones de Campo, Pg. 1-8

SPP 1981. Atlas Nacional del Medio Físico
1981 Secretaría de Programación y Presupuesto

Shaulot Talmon J.F., 1984. Etude Geologique et Structurale des Ignimbrites du Tertiaire de la Sierra Madre Occidentale, Entre Hermosillo et Chihuahua, Mexique. These de Docteur 3e cycle. Universite de Paris-Sud. Centre D'Orsay No. D'Ordre: 35 05.

State of Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology. Geological Survey Branch and Earth Science and Mineral Resources in Arizona, a Division of the University of Arizona. Tucson, Arizona, 1979.

Stewart J.H. et al. 1984. Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, Mexico-Physical Stratigraphy, Biostratigraphy, Paleo Current Studies and Regional Relations. U.S. Geological Survey Professional Paper 1309.

Stewart, J.H., et al, 1988. Preliminary Studies of Cambrian and Odovician Rocks near Sierra López, Sonora México.

Tinajero, J.A., 1982. Aspectos Fundamentales en el Estudio del Agua Subterránea. Comisión del Plan Nacional Hidráulico.