

**UNIVERSIDAD DE SONORA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
MAESTRIA EN CIENCIAS GEOLOGIA**

**TECTONICA DISTENSIVA TERCIARIA, YACIMIENTOS Y  
TELEDETECCIÓN EN LA HOJA LA DURA, SONORA CENTRAL.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRE SENTA**

**Geol. JESUS PORFIRIO SOSA LEON**

# 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

## **Presentación**

Este trabajo denominado “Tectónica Distensiva Terciaria, Yacimientos y Teledetección en la hoja La Dura, Sonora Central”, forma parte del proyecto: "Cartografía de depósitos minerales utilizando imágenes de satélite", proyecto 4104-T9404-001, auspiciado por CONACYT, a cargo del Geólogo Juan José Palafox Reyes.

## INDICE

Capítulo I.	El tema del presente trabajo.....	1
Capítulo II.	Geología Regional.....	7
	- Marco Geológico.....	7
	- Las Formaciones del Area de Estudio.....	12
	- Mesozoico.....	12
	- Triásico Superior: Formación Santa Clara.....	12
	- Cretácico Superior-Paleoceno: Formación Tarahumara y Batolito Laramídico.....	12
	- Formación Tarahumara.....	12
	- Batolito Laramídico de Sonora.....	14
	- Cenozoico.....	17
	- Arco Eoceno.....	17
	- Oligoceno-Mioceno .....	21
	- Las rocas ígneas de la Sierra Madre Occidental.....	21
	- Mioceno: La Formación Baucarit.....	23
	- Mioceno Superior: Rocas ígneas post-subducción....	24
	- Formación Lista Blanca y Basaltos Horizontales.....	24
	- Plioceno y Cuaternario.....	25



Capítulo III. Mineralizaciones y su exploración en el área.....	26
- Las Mineralizaciones.....	26
- Resultado de los trabajos de exploración industrial y su discusión.....	30
Capítulo IV. Estudio del área por teledetección: La falla del Río Yaqui.....	33
- La técnica de la teledetección.....	33
- La falla de bajo ángulo del Río Yaqui.....	34
- Extensión de la falla del Río aquí.....	40
Capítulo V. Discusión y Conclusiones.....	44
Bibliografía.....	47
Mapa Geológico Anexo	

## Capítulo I- EL TEMA DEL PRESENTE TRABAJO

Ya a finales del siglo XIX y comienzo del XX el área objeto de este estudio (fig. 1) tuvo una actividad relativamente importante de la mediana y pequeña minería (gambusinos).

La explotación de vetas ricas en sulfuros conteniendo oro, plata, cobre y otras de tungsteno (esencialmente scheelita) permitió el establecimiento de poblados de mas de 500 habitantes, cuya actividad económica principal consistía en el beneficio de los metales extraídos en la zona.

Entre los diferentes cuerpos mineralizados explotados allí en el pasado (fig. 2) podemos recordar los de La Dura (Ag), de la Mesa de Galindo (Au, Ag), del Golfo de Oro (Au), de Agua del Zacate (Cu) y El Coyote de (W). Las plantas de beneficio más importantes de la época, de las cuales todavía existen restos, fueron las de La Dura, de la Mesa de Galindo y subsidiariamente la del Golfo de Oro.

En su mejor época, trabajaban en La Dura por lo menos 300 hombres; y probablemente otros tantos, juzgando por los restos de las obras, en la Mesa de Galindo.

Estas operaciones mineras medianas se terminaron en los años 1910, debido a la Revolución Mexicana. Desde entonces y hasta nuestros días, solamente hubo en el área una actividad minera artesanal, por gambusinos, realizada por ende de forma bastante discontinua en el tiempo, en relación con la fluctuaciones de los precios de los metales.

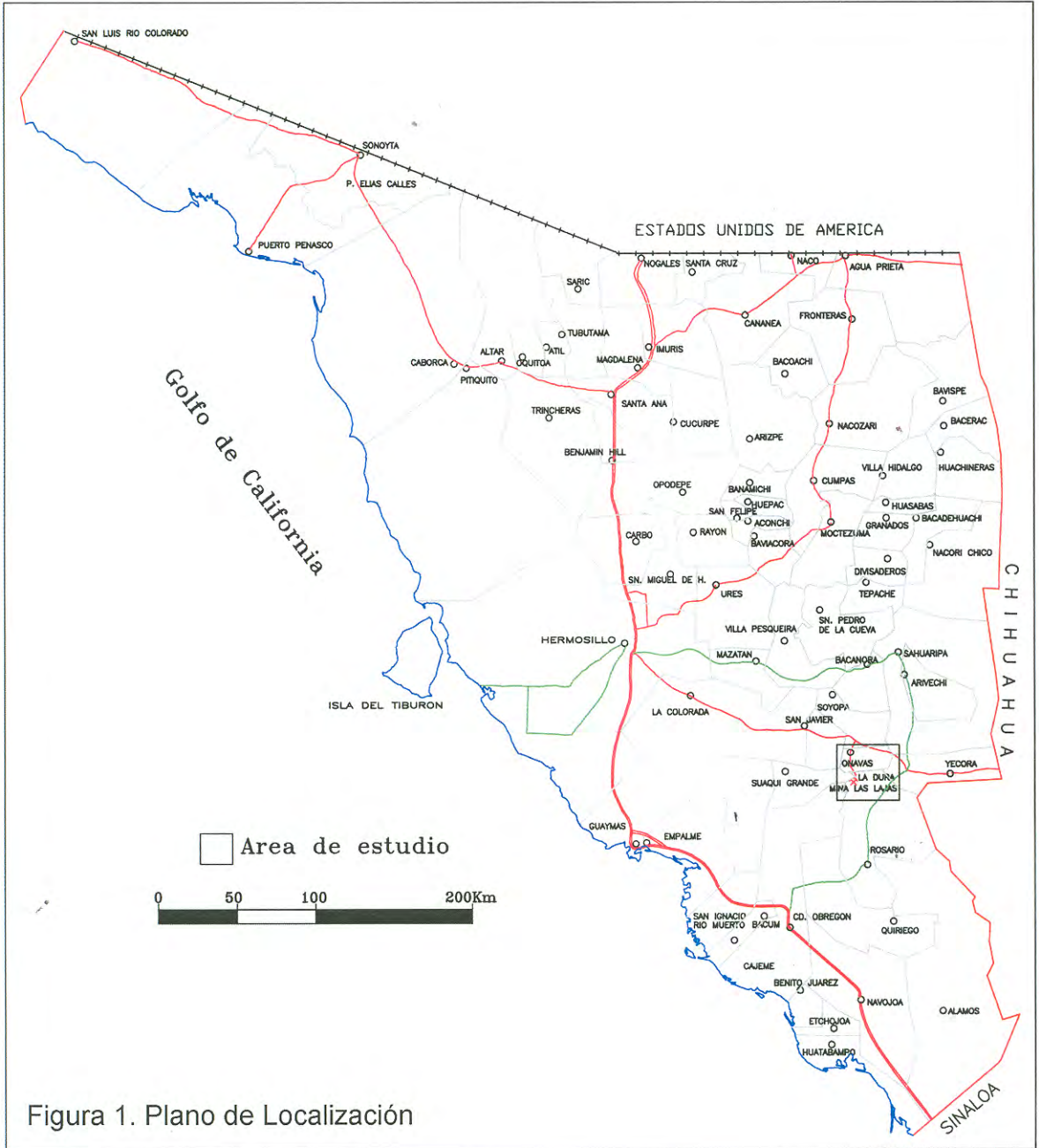


Figura 1. Plano de Localización



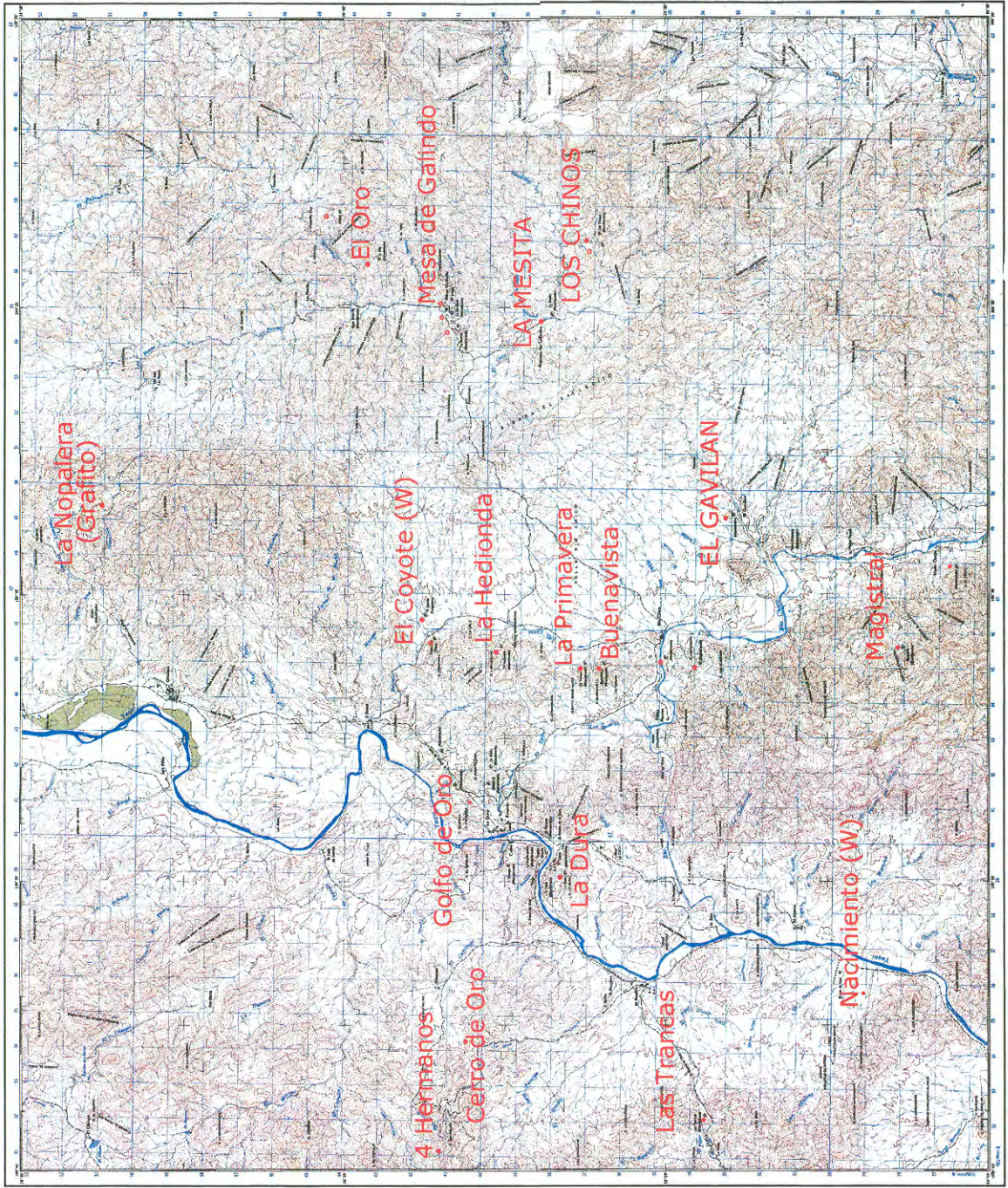


FIG. 2 MINERALIZACIONES DE HOJA LA DURA H12D75



Existen en la misma área varias y grandes zonas de espectaculares anomalías de color, principalmente color rojizo. Recordaremos entre ellas las de la Mesa de Galindo, del prospecto Cuatro Hermanos, del Cerro Colorado (en Rio Chico).

Estas anomalías de color se encuentran en rocas volcánicas, como es el caso de la Mesa de Galindo, o en rocas volcánicas y cúpulas intrusivas como es el caso, por ejemplo, del prospecto Cuatro Hermanos.

Los cuerpos de rocas a los que corresponden dichas anomalías de color (ver mapa anexo) presentan también una alteración hidrotermal, con facies que varían entre la propilítica y la cuarzo-sericítica, a veces acompañadas por indicios de cobre y/o de molibdeno. En ciertos casos (por ejemplo, Prospecto Metates) se encuentran extensas zonas de alteración sericítica, conteniendo indicios de molybdenita, sin que les corresponda una anomalía de color importante.

En la década de los 70 estos hechos levantaron el interés de grandes compañías mineras en búsqueda de pórfidos cupríferos, es decir de grandes cuerpos mineralizados conteniendo leyes bajas de cobre y molibdeno.

Se efectuaron entonces importantes trabajos e inversiones en la exploración de cuerpos de este tipo (con o sin anomalía de color directamente asociadas) de la zona.

Estos trabajos de exploración culminaron con las campañas de barrenación efectuadas en los prospectos Cuatro Hermanos, Cerro Colorado, Prospecto Metates, Cerros aledaños a la Mesa de Galindo.

De estas campañas de barrenación, la única que tuvo un resultado interesante fue la del Prospecto Cuatro Hermanos, donde, según información oral,

se pusieron entonces en evidencia por lo menos un pequeño pórfido cuprífero, con reservas de unos 50 millones de toneladas con un contenido de 0.41% Cu y 0.04% Mo.

La exploración industrial en el área tuvo un nuevo auge en los años 1990 a 1995, esta vez principalmente por el posible interés aurífero de los mismos cuerpos ya explorados como posibles pórfidos cupríferos.

Esta nueva exploración también llegó a la etapa de barrenación. Se barrenaron entonces los cuerpos de la Mesa de Galindo y del Cerro y se efectuó una nueva campaña de barrenación del Prospecto Cuatro Hermanos, sugerida posiblemente por el depósito aurífero asociado y que se encuentra en su periferia inmediata, llamado Cerro de Oro (fig. 2).

En la actualidad la única actividad minera en el área se reduce prácticamente a la de algunos gambusinos y a la explotación a pequeña escala, y en realidad poco más que artesanal, del oro del depósito del Golfo de Oro (oro en estructuras tipo stockwoerk acompañadas por zonas con oro diseminado de baja ley).

*Considerando el panorama anteriormente descrito, es legítimo preguntarse cuál es la razón de que, a pesar de los indicios existentes y de todos los trabajos industriales de exploración realizados, no se ha llegado al descubrimiento de un cuerpo que permita desarrollar una explotación minera industrial en el área.*

Para resolver esta incognita hemos dado los pasos siguientes:

- (a) Revisión estratigráfica
- (b) Definición-interpretación de la naturaleza de las rocas ígneas que afloran en el área y que han dado lugar a sus zonas de alteración hidrotermal;
- (c) Elaboración (cuya tecnología será discutida en un capítulo especial) e interpretación tectónica de una imagen de satélite del área (teledetección) como se verá, este resultó ser el instrumento más útil para la resolución del problema
- (d) Preparación de un mapa geológico del área (hoja La Dura H12D75) en el cual se plasmaron todos los datos obtenidos.



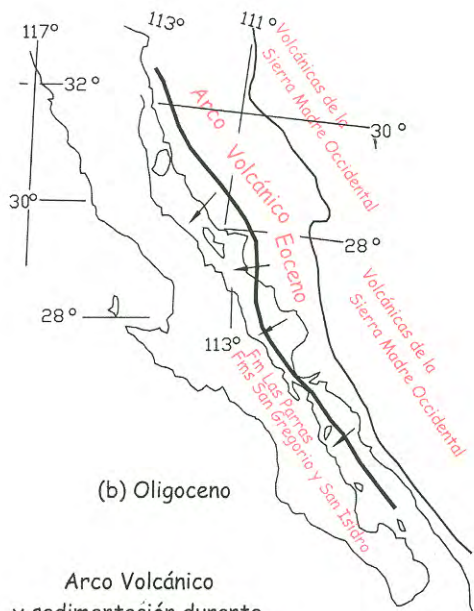
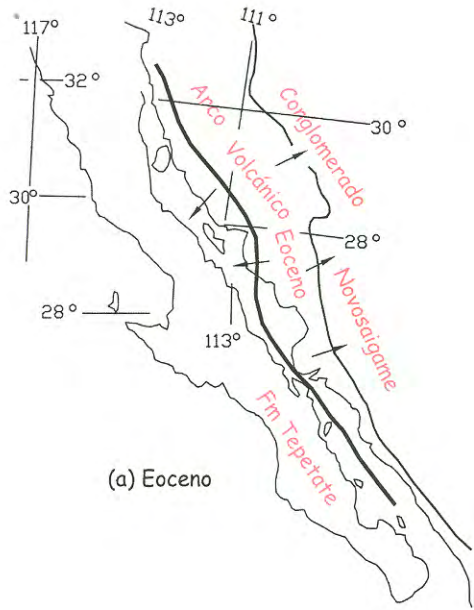
## CAPITULO II - GEOLOGIA REGIONAL

### MARCO GEOLOGICO

La base de la serie estratigráfica del área esta constituida por rocas sedimentarias triásicas de la *Formación Barranca*, que en parte presenta metamorfismo de contacto debido a las intrusiones laramídicas.

Encima de esta secuencia se encuentran las rocas volcánicas de la *Formación Tarahumara* y las intrusivas del *Batolito Laramídico de Sonora*, ambos del Cretácico Superior - Paleoceno (~ 77-57 Ma) (Damon et al., 1983; 1989; Radelli; Radelli y Lucero, 1989).

Todo este conjunto ha sido afectado durante el Eoceno (~ 50-40 Ma) por el levantamiento de un *Arco Magmático Continental*, acompañado por el emplazamiento de *cúpulas de granitoides* (Macias, 1992; Radelli et al., 1993; Radelli y Lucero, 1996). La erosión de este arco dio lugar hacia el Este al depósito de un conglomerado, el Conglomerado Novosaigame (Bockhoven, 1980; Cochemé, 1985; Cochemé y Demant, 1991), que constituyó la base del sistema volcánico de la Sierra Madre Occidental. Este conglomerado no aflora en el área de estudio, pero ocurre al NE de ella, en el área de Santa Rosa, para alcanzar su más grande distribución en el área de Ocampo (Chihuahua). La erosión del mismo arco dio lugar al Oeste a los depósitos detríticos en parte del Eoceno (Formación Tepetate) y sobre todo del Oligoceno-Mioceno inferior de la Baja California Sur (Fig. 3) y al Este a la Formación Las Parras y al Oeste sus equivalentes marinos, las Formaciones San Gregorio y San Isidro al Oeste, de la costa del Pacífico.



Arco Volcánico  
y sedimentación durante  
el Eoceno (a) y el Oligoceno (b)

FIG.3

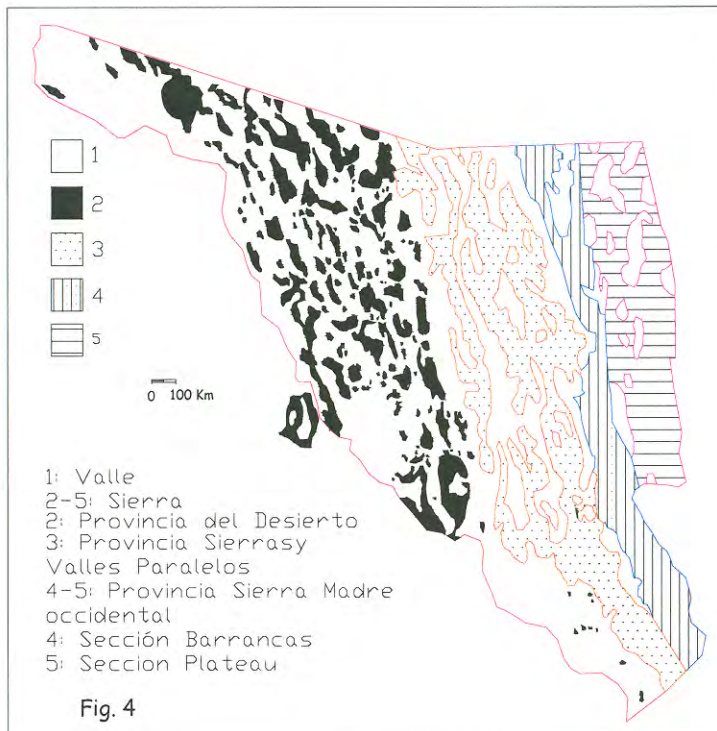
En la cuenca determinada en su lado oriental por el levantamiento del Arco Eoceno, el depósito del Conglomerado Novosaigame ha sido seguido durante el Oligoceno (~ 35-27/25 Ma) por la acumulación de las *riolitas de la Sierra Madre Occidental* (Cochemé, 1985; Cochemé et Demant, 1991) que afloran ampliamente en la parte oriental del área de estudio. Durante este mismo lapso de tiempo dio lugar más al Oeste (Mazatán) la zona de deformación dúctil (Calles 1999) que caracteriza la estructura de los “Metamorphic Core Complexes” (MCC).

Alrededor de los 27/25 Ma ocurre la primera *distensión cenozoica* de la región, probablemente en *pure shear*. En la Sierra Madre Occidental le corresponde un *volcanismo bi-modal* (riolitas y basaltos, que en ciertas partes son preponderantes). Hacia el Oeste (y afuera de nuestra área de estudio), en correspondencia de los MCC (Mazatán), llega entonces a la superficie, pero ya en condiciones rígidas, la zona de deformación dúctil anterior, misma que constituye el substrato de las *cuencas tipo Belleza* (Calles, 1999).

Este régimen sigue hasta la intervención de una nueva fase distensiva, la *distensión Baucarit*, que de los eventos tectónicos que afectaron el área será éste el que más nos ocupará en este trabajo. Para fijar las ideas se puede atribuir al comienzo de esta distensión una edad de ~20 Ma, pero hay que anotar que no es sincrónico en toda la región (tanto en el Centro-Norte de Sonora como en Sonora Central su comienzo es probablemente posterior a los 19 Ma, edad radiométrica de ciertos diques riolíticos cubiertos en discordancia por los depósitos Baucarit).



Esta distensión ocurrió indiscutiblemente en *simple shear* y es la que confirió a la región su estructura en *Sierras y Valles Paralelos* (fig.4) . Debido a ella se abrieron cuencas longitudinales en las cuales se acumularon basaltos, a veces difíciles de separar de los del episodio bi-modal, y las rocas clásticas (conglomerados y areniscas) conocidas como *Formación Baucarit* , que en el área de Mazatán es claramente discordante sobre la Formación Belleza (Calles, 1999).



*Un hecho nuevo ocurre en la margen pacífica a los 12.5 Ma, cuando la subducción cesa, siendo reemplazada por la falla transformante Tosco-Abreojos (Klitgord, et al 1993 y Mammerick, 1990).*

Aparentemente en relación con este proceso, ocurre entonces en Sonora una *nueva distensión en simple shear*. Esto está indicado por los dos hechos siguientes: (i) los depósitos Baucarit son basculados y afectados por rotaciones y (ii) están cubiertos en discordancia por las *volcanitas (esencialmente riolitas) post-subducción del Grupo Lista Blanca*, fechadas radiométricamente en  $\sim 12$  à 10 Ma (Bartolini, et al, 1991), que ocurren también en nuestra área.

En la parte occidental de Sonora, hacia la costa del Golfo de California, los depósitos Lista Blanca están basculados, con rotaciones, por una *nueva distensión en simple shear a  $\sim 10/8$  Ma*. Es la distensión que abre el *Paleogolfo de California* (Radelli et al., 1990), conocida en los EEUU como distensión Basin-and-Range (Zoback, et al, 1981).

Después de esta fase tectónica, alrededor de los 6 Ma se emplazan *basaltos islandíticos* todavía horizontales (Sheridan, et al, 1979), bien desarrollados especialmente en las cercanías de la costa del Golfo de California.

A los 4.5 Ma ocurre la apertura del Golfo de California, por la acción transtensiva del Sistema de San Andrés, evento del cual todavía no se conocen repercusiones en Sonora, donde el Plio-Cuaternario está esencialmente caracterizado por el depósito de nuevos e importantes sedimentos clásticos y por los basaltos alcalinos como los de Moctezuma y del Pinacate (Paz, 1985).

## **LAS FORMACIONES DEL AREA DE ESTUDIO**

### **MESOZOICO**

#### **Triásico Superior: Formación Santa Clara**

La Formación Santa Clara aflora en la parte norte del área en el arroyo La Nopalera. Se trata de una secuencia plegada de 250 m de espesor de arenisca y lutitas con mantos de carbón y grafito, que sobreyace rocas graníticas. Su límite superior es una falla que la separa de la Formación Tarahumara. Con base en el fósil *Zamites fragilis*, Cruz Frisby (1989) determinó la edad de esta unidad como Triásico Superior y la correlacionó con la Formación Santa Clara del Grupo Barranca.

El grafito que contiene indica que esta unidad sufrió un metamorfismo térmico, mismo que se atribuye a las intrusiones laramídicas.

#### **CRETACICO SUPERIOR-PALEOCENO: Formación Tarahumara y Batolito Laramídico**

**Formación Tarahumara:** El término de Formación Tarahumara fue empleado originalmente por Wilson y Rocha (1949) para una secuencia volcano-sedimentaria que aflora al Este de Tonichi, Sonora Central. Según ellos se trataba posiblemente de una formación Cretácico Superior, cubierta en discordancia por rocas volcánicas del Oligoceno. Según estudios más recientes (e.g., McDowell et. al., 1994) esta formación consta de dos secuencias concordantes. Su porción



inferior consiste en flujos de lava, aglomerados y brechas de composición dacítica a andesítica. Su parte superior está compuesta por rocas volcanoclásticas y sedimentarias con horizontes piroclásticos y lentes de areniscas y calizas.

Genéticamente y en el campo esta formación está estrictamente ligada al Batolito Laramídico de Sonora. Con base en esta observación, se asigna a esta formación la misma edad radiométrica (K/Ar) 77-57 Ma de este batolito. Esta edad está confirmada por algunas determinaciones de Damon et al. (1983) y por una edad preliminar U/Pb en zircón de  $70 \pm 1$  Ma, obtenida para un horizonte de tobas del Arroyo El Obispo por McDowell et al. (1994). En base a esta, el rango de edad de la Formación Tarahumara es entonces Cretácico Superior - Paleoceno.

En el área de estudio esta formación ocurre en afloramientos extensos. Además que por las intrusiones del Batolito Laramide, está afectada también por las de la cúpulas de granitoides del Arco Eoceno.



**Batolito Laramídico de Sonora:** En el área de estudio, cuerpos de este batolito constituyen volúmenes importantes. Se encuentran en contacto con la Formación Tarahumara y dieron lugar a metamorfismo de contacto en la Formación Santa Clara.

Desde el punto de vista químico, el Batolito de Sonora (más la Formación Tarahumara) corresponde a un magmatismo calcialcalino muy similar a aquél de la Sierra de Nevada, en EUA. Desde el punto de vista petrográfico está constituido esencialmente por granodioritas, monzodioritas de cuarzo y granitos.

En el pasado (e.g., Damon et al., 1983) se incluían en el Batolito Laramídico todas las rocas intrusivas calcialcalinas de Sonora de una edad de entre 90 y 40 Ma, mismas que se consideraban como ligadas a un único arco magmático de esa edad. Haciendo esto, también se incluyeron en el Batolito de Sonora los granitos peraluminosos de dos micas, a pesar de estar considerados como anatéticos y post-arco volcánico laramídico, y que en la realidad, como se verá en la siguiente sección, están ligados a un Arco Eoceno independiente.

De hecho, con base en un análisis de sus datos geoquímicos isotópicos (fig 5). Damon et al.(1983), indicaron que la verdadera edad del Batolito es de 77 a 57 Ma. Esto, ha sido precisado y confirmado posteriormente.

Por un lado, en 1989 Damon reconoció una hiatus en la actividad magmática calcialcalina, entre aproximadamente los 55 y los 35 Ma, es decir entre lo que corresponde al Batolito y lo que corresponde al magmatismo de la Sierra Madre Occidental (fig. 6), el magmatismo calcialcalino siendo reemplazado entonces por un magmatismo peraluminoso, fruto de una fusión cortical.

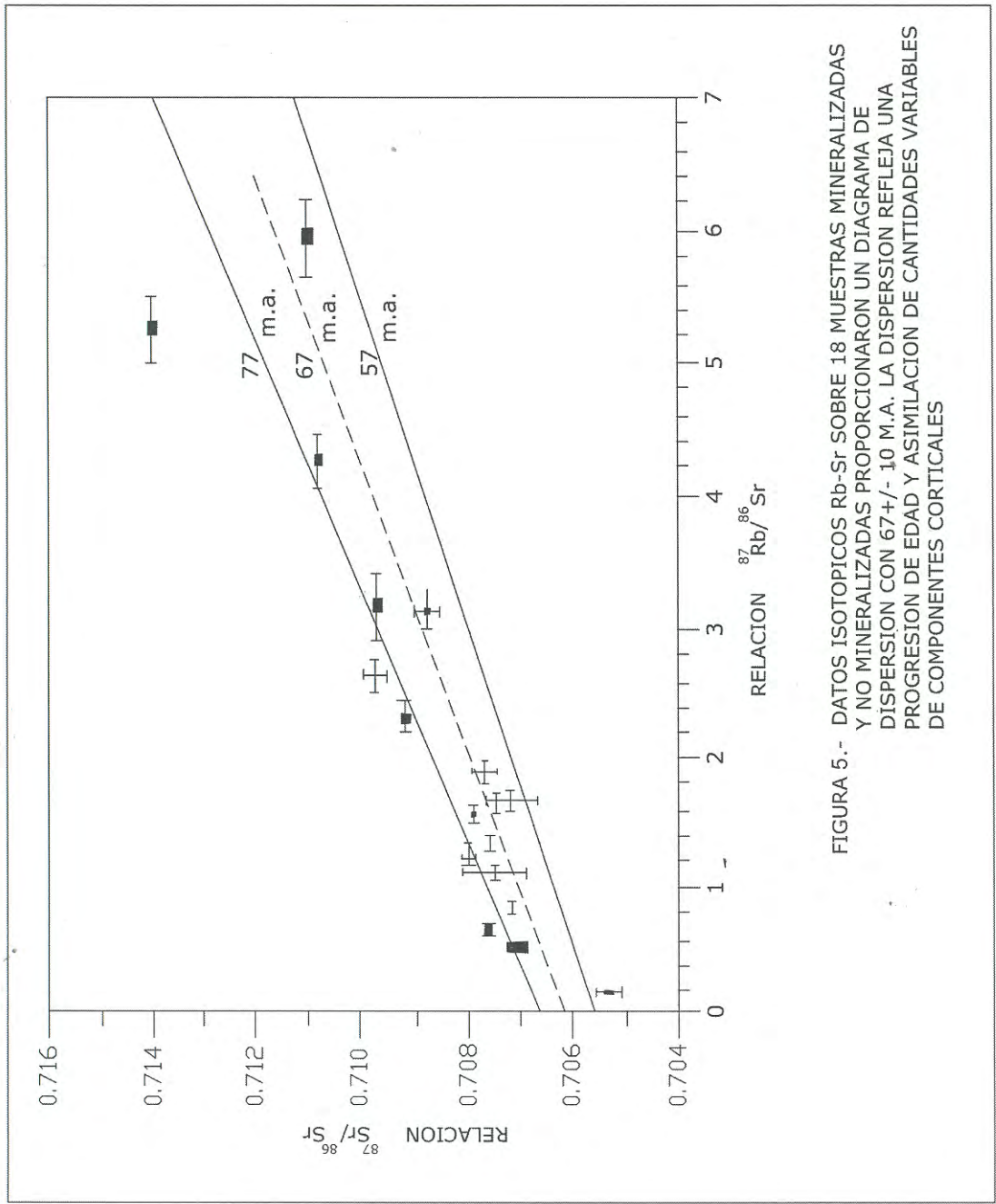
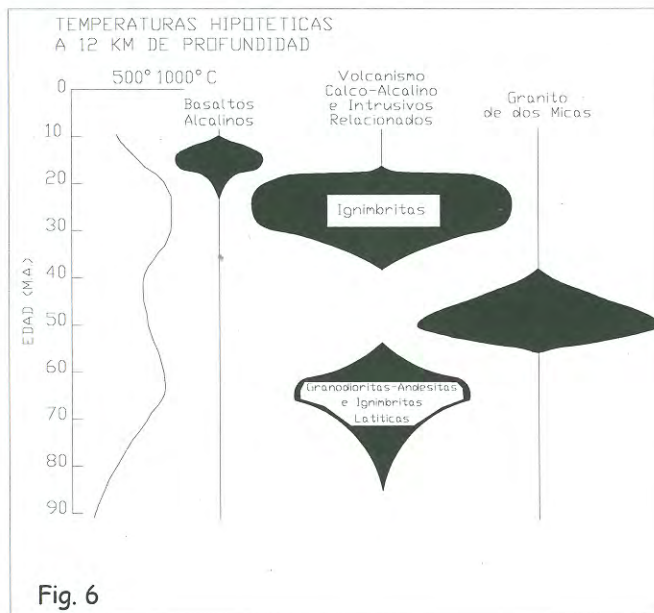


FIGURA 5.- DATOS ISOTÓPICOS Rb-Sr SOBRE 18 MUESTRAS MINERALIZADAS Y NO MINERALIZADAS PROPORCIONARON UN DIAGRAMA DE DISPERSION CON  $67 \pm 10$  M.A. LA DISPERSION REFLEJA UNA PROGRESION DE EDAD Y ASIMILACION DE CANTIDADES VARIABLES DE COMPONENTES CORTICALES



Y, por otro lado, Macias (1992), Radelli et al. (1992), Radelli y Lucero (1993, 1996) y Radelli (1996) pudieron demostrar que los granitos de dos micas y las cúpulas de granitoides de Sonora están ligados a un Arco Volcánico Continental Eoceno (50 - 40/35) Ma.

En conclusión, se puede afirmar ahora que:

(a) que el Batolito de Sonora tiene una edad de aproximadamente 77 a 57 Ma;

(b) que por estar estrictamente asociado a la Formación Tarahumara se originó en una cuenca tras-arco, el arco correspondiente encontrándose actualmente, desplazado por el Sistema de San Andrés, en Baja California y California (Ornelas, 1992), donde está representado por facies aluminosas (por ejemplo, en la Sierra de Juarez, en Baja California).

## CENOZOICO

### Arco Eoceno

La interpretación tectónica de los datos geoquímicos obtenidos sobre los granitos de dos micas  $\pm$  granate del Macizo de Aconchi y Puerta del Sol, y en particular del granito de Huépac y la interpretación de sus datos petrográficos permitió a Radelli y colaboradores (Macias, 1992; Radelli et al., 1992; Radelli y Lucero, 1996, 1997 y Radelli (1998) establecer que:

(1) dichos granitos son el resultado de una acreción magmática sub-cortical y de una consiguiente fusión cortical;

(2) habiendo tomado origen a una profundidad de unos 30 km., se emplazaron a una profundidad de aproximadamente 10 km., misma que corresponde a la suma de los espesores de la Plataforma Paleozoica de Sonora y del Paleozoico “de cuenca”, alóctono sobre la misma (Radelli et al., 1987);

(3) la existencia de un Arco Volcánico Continental (Arco Volcánico Continental Huépac), al cual, de conformidad con las edades radiométricas (K/Ar) de esos granitos (Damon 1983, 1989) atribuyeron en un primer tiempo una edad de 40-35 Ma (Eoceno) .

La existencia de este Arco fue documentada sobre bases estratigráficas por los mismos autores que reconocieron como productos de su levantamiento y



de su erosión el Conglomerado Novosaigame al Este, y los depósitos clásticos de la parte occidental de Baja California Sur al Oeste - este último punto habiendo sido confirmado más tarde por el resultado de trabajos de campo posteriores (Ortiz Jacome, 1998; Radelli 1999, Radelli 1999, Radelli y Ortiz Jacome, en preparación).

Sucesivamente, un análisis macroscópico comparativo de la actitud de los diques básicos del final del Laramídico asociados a y cortando los granitoides Laramídicos había sugerido que una deformación penetrativa en compresión había acompañado el levantamiento de dicho arco ( Radelli y Lucero, 1996). La existencia de dicha deformación penetrativa en compresión ha sido confirmada, con base en un análisis estructural de unos afloramientos cortados por la carretera Ures-Mazocahui (Macizo de Aconchi), por Bronner y Radelli (1996), quienes pudieron especificar su comportamiento. Mostraron, en efecto, que tanto los diques básicos como el granitoide que los contiene están afectados por un cizallamiento compresivo dúctil NE-SW que dio lugar a pliegues, incluyendo pliegues volcados, y a estructuras “fish-like boudins”, en forma de Z aplastados horizontalmente, separados entre sí por discontinuidades sub-horizontales. Estas estructuras parecen indicar un corrimiento hacia el SW. Y mostraron también que después de esta deformación compresiva, el conjunto ha sido afectado por fallas normales con rumbo NW-SE y echado de 20° al SE, localmente demarcadas por zonas de brechas, que se pueden asignar a la gran fase distensiva del Mioceno.

Los granitos de dos micas  $\pm$  granate desaparecen, junto con los Metamorphic Core Complexes (MCC) al nivel de Mazatán, donde encuentran la extensión de la falla transversal de Agua Blanca - Mazatán (fig. 7). Sin embargo,

al Sur de esta falla y desplazados hacia el Este relativamente al eje del cinturón de los MCC, los productos del Arco Volcánico Continental Huépac fueron reconocidos (Radelli y Lucero, 1996), en un nivel estructural más alto, en las cúpulas de granitoides fechados radiométricamente (K/Ar) de ~50 Ma (Damon et al., 1983), como es el caso, por ejemplo, de la cúpula de Santa Rosa.

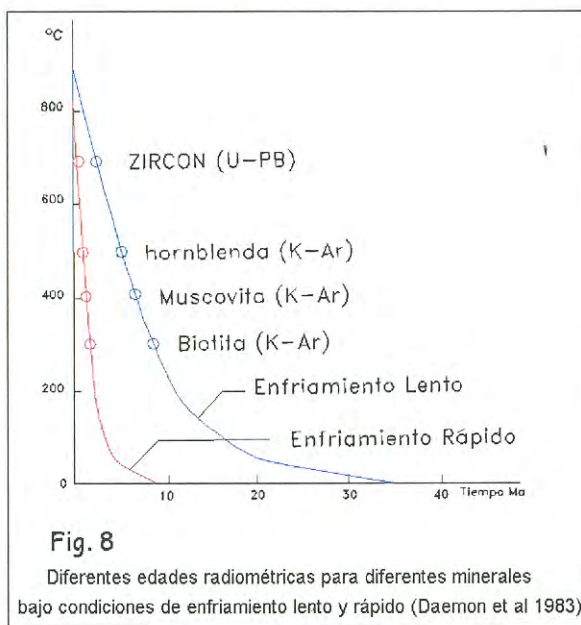


Debido a este nuevo dato, Radelli y Lucero (1996) tuvieron que revisar la edad 40-35 Ma asignada al Arco Huépac. Por haber sido emplazadas en un nivel estructural mucho más alto del Arco Huépac, las cúpulas se enfriaron mucho más rápidamente que los granitos de dos micas ± granate, emplazados a 10 Km. de profundidad. En estas condiciones, como mostrado por Damon et al. (1983), es normal esperar una diferencia de edad radiométrica de hasta 10 Ma entre cuerpos

emplazados, en realidad, contemporáneamente (fig. 8). Debido a estas consideraciones, Radelli y Lucero (1996) asignan ahora una edad de 50-40 Ma (Eoceno inferior) al Arco Volcánico Continental Huépac.

En el área de estudio y zonas aledañas las cúpulas de este Arco son bastante comunes y se encuentran emplazadas tanto en la Formación Tarahumara como en los Granitoides del Batolito Laramídico. Recordaremos entre ellas las de: Santa Rosa, fechada en 49 Ma (Damon et al., 1983), Cuatro Hermanos, El Tordillo y la que constituye un pequeño cuerpo intrusivo en las inmediaciones de la Mina La Dura. Su composición petrográfica es a menudo cuarzomonzónica (Cruz Frisby, 1989). Están a veces acompañadas por pegmatitas, otras veces por una extensa turmalinización de sus rocas encajonantes.

Los cuerpos que muestran anomalías de color y alteración hidrotermal, de los cuales se dijo al principio, están estrictamente ligados a estas cúpulas.





## OLIGO-MIOCENO

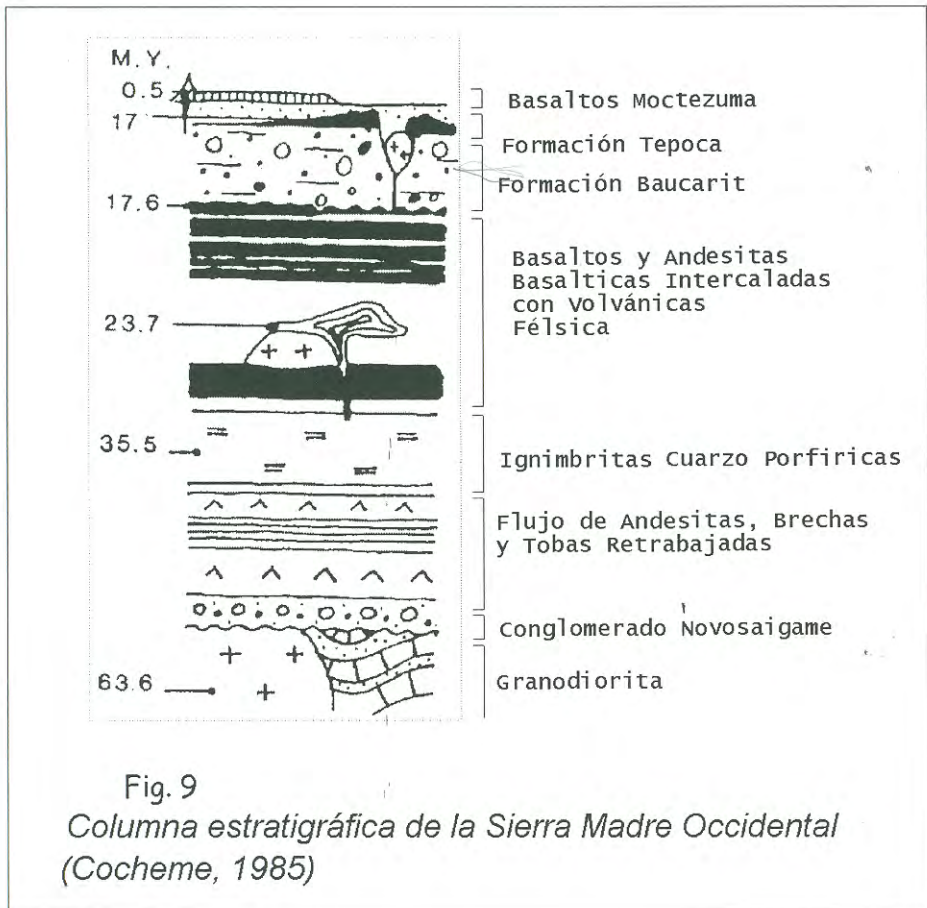
**Las Rocas Ígneas de la Sierra Madre Occidental:** Debemos nuestros conocimientos actuales de la secuencia volcánica de la Sierra Madre Occidental (fig. 9) a los trabajos de Cochemé (1985), resumidos en Cochemé y Demant (1991).

Cubriendo el Conglomerado Novosaigame y/o directamente el complejo de base mesozoico y a veces un complejo metamórfico más antiguo (Basaseachic), esta secuencia empieza con una enorme actividad riolítica, de hecho la mayor formación ignimbrítica riolítica a riodacítica del mundo.

Esta actividad magmática se consume entre aproximadamente los 34 y los 27/25 Ma (Keiser, 1973; Swanson et al., 1978; Mc Dowell et Clabaugh, 1981; Cochemé, 1985, Cochemé y Demant, 1991), y está acompañada por un desarrollo de calderas y de calderas resurgentes.

Le sigue, entre aproximadamente los 27/25 y los 20 (17/18) Ma, un vulcanismo bimodal: andesitas basálticas y riolitas, estas últimas a veces en domos, de los cuales uno ha sido fechado en 23.7 Ma (Cochemé, 1985; Cochemé y Demant, 1991). Como se advirtió más arriba, esta actividad volcánica, contemporánea de la apertura de las cuencas tipo Belleza, tuvo aparentemente lugar durante una fase distensiva en cizalla pura. Durante esta fase las rocas básicas se hicieron progresivamente volumétricamente siempre más importantes.

Alrededor de los 20 Ma, intervino una fase distensiva en cizalla simple: la distensión Báucarit. Según los lugares, en las cuencas Báucarit neo-formadas se acumularon ya sea andesitas basálticas, a veces difíciles de separar de las anteriores, ya sea los conglomerados y areniscas de la Formación Baucarit, con andesitas basálticas intercaladas y, finalmente, grandes espesores de nuevas andesitas basálticas toleíticas, como las de Tepoca.



## **MIOCENO:**

**La Formación Baucarit:** Esta formación fue descrita por primera vez, como "División Báucarit", por Dumble (1900), cerca del pueblo de Báucarit, a 35 Km al Noroeste de Alamos. Se trata de conglomerados y areniscas de origen fluvio-lacustre, con rocas efusivas interestratificadas a la base.

El nombre fue cambiado por King (1939) quien reagrupó bajo el término de "Formación Báucarit" la "División Báucarit" y ciertos afloramientos de la "División Nogales" y de la "División Lista Blanca" de Dumble.

Es de señalar la presencia en sus conglomerados de fósiles de vertebrados del Mioceno terminal.

En el área que nos ocupa, la Formación Báucarit ha sido estudiada recientemente por De la O (1993).



## **Mioceno Superior:**

### **Rocas ígneas post-subducción:**

#### **Formación Lista Blanca y basaltos horizontales.**

Al cese de la subducción, ocurrido a los 12.5 Ma, corresponde un nuevo evento tectónico y un nuevo régimen magmático.

Una nueva distensión ocurre en la margen pacífica: el Arco Eoceno, ya afectado por la distensión Báucarit, sigue desmembrándose. En Baja California se abre una cuenca evaporítica tipo rift en la cual, entre Loreto y la Laguna del Gato, sedimenta una importante formación yesífera, actualmente explotada en Santa Rosalía y en la isla San Marcos (este rift abortará a los 10 Ma). Una distensión por cizalla simple afecta Sonora, dando lugar en particular a rotaciones de los depósitos de la Formación Báucarit.

En discordancia arriba de los depósitos de la Formación Báucarit o directamente sobre formaciones más antiguas se acumulan entonces en la parte occidental de Sonora las volcanitas de la Formación Lista Blanca, fechadas radiométricamente en ~12-10 Ma, mismas que consisten esencialmente de ignimbritas riolíticas a riodacíticas (Cocheme and Demant 1991, Cochemé, 1985; Radelli et al., 1987; Bartolini et al., 1991, Radelli et al., 1990). A Norte de nuestra área de estudio esta formación se encuentra desde el Río Yaqui hasta la costa del Mar de Cortez; en cambio, a la latitud de nuestra área sus afloramientos más orientales se encuentran entre San José de Pimas y Tecoripa. La formación tiene su máximo desarrollo en las Sierras del Bacatete, de la Ventana y de Santa Ursula y en la región de Guaymas.

Alrededor de los 10 Ma la parte más occidental de la margen pacífica está afectada por una nueva distensión por fallas lítricas (cizalla simple) de echado suroeste, que abrieron el Paleogolfo de California (Radelli et al., 1990). En Baja California ocurren entonces, entre aproximadamente 10?-8 y 6 Ma. las traquiandesítas basálticas de la Formación Comondú; en la parte occidental de Sonora nuevos basaltos, islandíticos en la costa del Golfo, permanecidos en posición horizontal. Hacia la costa del Golfo, donde la Formación Lista Blanca ha sido afectada por las rotaciones ligadas a las fallas lítricas, estos basaltos son discordantes sobre ella. Más al Este, donde dichas rotaciones no tuvieron lugar, los basaltos post-riolítas Lista Blanca son concordantes con estas últimas (e.g., alrededores de San José de Pimas) o discordantes con los depósitos Báucarit que cubren directamente, como en nuestra área de estudio.

### **Plioceno y Cuaternario**

El evento principal del Plioceno fue la apertura del Golfo de California, debida a la intervención a los 4.5 Ma del Sistema Transformante de San Andrés y el consiguiente cambio de placa de la Península de Baja California. Mientras en Baja California corresponde a este evento la apertura de las cuencas de Loreto y de Santa Rosalía, es difícil atribuir a él estructuras bien definidas de Sonora. De hecho, en Sonora el Plio-Cuaternario, a parte del mucho más tardío evento de alcalino de los basaltos de Moctezuma y del Pinacate (Paz, 1985; Vidal, 1998), está esencialmente representado por depósitos y terrazas aluviales, cuya edad no está todavía exactamente definida.

## **CAPITULO III:**

### **MINERALIZACIONES Y SU EXPLORACION EN EL AREA.**

#### **Las Mineralizaciones**

Radelli et al. (1995) y Radelli y Lucero (1996) pudieron demostrar que muchas de las mineralizaciones de Sonora están ligadas a las intrusiones del Arco Eoceno, entre ellas. A continuación se enlistan algunas de las evidencias:

- la molibdenita de la Mina La Caridad, fechada en 42 Ma (Saegart, et al, 1974);
- la molibdenita y la scheelita de La Verde-Cumubabi, (Damon et al., 1983);
- la scheelita diseminada del granito de Huépac, fechada con el método K/Ar en 40 Ma (Damon et al., 1983), edad revisada (Radelli et al., 1995, Radelli y Lucero, 1996) en ~ 50 Ma;
- scheelita de la Mina Jaralito, (Mead, et al, 1998);
- scheelita de la Mina La Venada, (Mead, et al, 1998);
- mineralización de Zn, Pb + Ag de San Felipe, fechada en 50 Ma (Damon et al., 1983);
- oro de Estación Llano (Mina San Francisco) ligado a un granito con turmalina fechado en 40 Ma (Perez and Ceillett, 1991);
- vetas argentíferas de Santa Rosa, ligadas a una cúpula granodiorítica fechada en 49 Ma (Damon et al., 1983; Cochemé, 1985)



Consideramos importante hacer resaltar que todas las mineralizaciones fechadas de molibdeno y de scheelita están evidentemente ligadas al Arco Eoceno y no al Batolito Laramídico (Cretácico Superior - Paleoceno), como se pensaba con anterioridad (e.g., Radelli, 1985). En el estado actual de los conocimientos, se puede entonces pensar que también las mineralizaciones de Cuatro Hermanos, El Tordillo y otras (ver más adelante), que contienen molibdenita y/o molibdenita y scheelita o scheelita, también se deben a este evento.

Radelli y Lucero (1997) mostraron también que las mineralizaciones del Eoceno se distribuyen coherentemente, por contenido metálico y morfología, en función de la profundidad de emplazamiento de las mismas (Tabla 1). Así, por ejemplo, la scheelita esta diseminada en el granito de dos micas  $\pm$  granate de Huepac y a veces en las cúpulas del Eoceno (e.g., Cerro Tordillo); forma cuerpos de origen hidrotermal en las zona de contacto de los granitoides laramídicos con las rocas calcáreas de la Plataforma Paleozoica; y se encuentra en pegmatitas que atraviesan esos mismos granitoides cerca de su límite con la Formación Tarahumara (e.g., San Nicolas).



INTRUSIVO EOCENO	MINERALIZACION
Bajo el nivel del Granitoide Laramide	
Granito de dos micas ± granate (emplazados a una profundidad de 10km) y pegmatitas	Schelita diseminada y molibdenita, algo de columbotantalita:ej Granito Huépac.
Nivel Inferior del Granitoide Laramide	
Pequeños e irregulares cuerpos graníticos	Hidrotermalismo, schelita en skarns: ej. El Jaralito y Mina la Venada
Nivel Superior del Granitoide Laramide Cerca del contacto con la Tarahumara	
Cúpulas Porfiríticas	Pequeños cuerpos de schelita diseminada y molibdenita:ej. Cerro el Tordillo, venas de plata ej. Santa Rosa.
Nivel Tarahumara	
Cúpulas	Venas de plata:ej. La Dura. Diseminados de oro y plata:ej. Golfo de oro, Mesa de Galindo Diseminados de cobre con molibdenita:ej. Cuatro Hermanos y venas de oro asociadas ej. Cerro de Oro.
Nivel Tarahumara Superior	
Pequeñas cúpulas y cuerpos intrusivos microgranulares	Venas Argentíferas de cuarzo, con poco oro, Py-Pb-Zn-(Cu) veta; pequeños cuerpos diseminados con baja ley de oro:ej. Sierra de las Minas.

Tabla 1

En el área de estudio y zonas adyacentes las principales mineralizaciones son, de Sur a Norte (Fig. 2):

\* Nacimiento: pegmatitas con scheelita (y molibdenita ?).

\* Cerro El Tordillo, al Oeste de EL Realito: cúpula leucocrática con una corona de scheelita y molibdenita diseminadas y trazas de sulfuros de cobre.

\* Cuatro Hermanos: sulfuros de cobre y molibdeno disseminados en una cúpula cuarzo-monzonítica y en su encajonante, la Formación Tarahumara, con alteración hidrotermal cuarzo-sericítica a propilítica.

\* Cerro de Oro: vetas y pequeñas disseminaciones de oro, explotadas en parte en el pasado (finales del siglo XIX y principios del Siglo XX), en la periferia del cuerpo anterior.

\* La Dura: vetas de sulfuros con plata, oro, cobre, plomo.

\* Golfo de Oro: vetas (explotadas en el pasado) y disseminaciones de oro en las andesitas de la Formación Tarahumara; las vetas han sido explotadas artesanalmente en el pasado, vetas y disseminaciones lo son actualmente a pequeña escala.

\* Mesa de Galindo: vetas de sulfuros con plata, oro, cobre, plomo.

\* Santa Rosa: vetas argentíferas, explotadas en el pasado, ligadas a una cúpula de granitoide de 49 Ma (Damon et al., 1983).

A estas mineralizaciones conviene agregar, para un mejor entendimiento de lo que va a seguir, las ya mencionadas zonas de alteración hidrotermal, con vistosas anomalías de color, de Río Chico, de la Mesa de Galindo, de los cerros (carretera a Yecora), del Cerro La Lamosa (carretera a Yecora, zona al Este de Santa Rosa) con oro disseminado (y en vetillas?) y el Prospecto de Los Metates

(Onavas) que corresponde a una masa andesítica profundamente silicificada (quartz blow ?) con una débil diseminación de molibdenita, que finalmente fueron las que motivaron el presente trabajo.

Todas estas mineralizaciones y zonas de alteración hidrotermal se atribuyen al Eoceno (Radelli y Lucero, 1996) y por lo tanto, directa o indirectamente, al emplazamiento de cúpulas (Cochemé, 1985).

### **Resultados de los Trabajos de Exploración Industrial y su discusión.**

De los cuerpos mineralizados o alterados indicados aquí arriba han sido explorado industrialmente, incluyendo con barrrenaciones, los de:

- Río Chico (años 1970)
- Mesa de Galindo (años 90's)
- Los Metates (años 1970)
- Cuatro Hermanos (años 1970 y 1990)
- Cerro La Lamosa (1990)

Según información oral fidedigna, en el Prospecto Cuatro Hermanos los trabajos de exploración efectuados en los años 1970 dieron un resultado positivo, en el sentido de que indicaron la existencia de un cuerpo mineralizado de unos 50 millones de toneladas con una ley del orden de 0.4 (?) % Cu y 0.04 % Mo. Con las leyes indicadas se trata de un volumen mineralizado relativamente pequeño para permitir el desarrollo de una operación minera industrial importante.



No tenemos conocimiento de los resultados de los trabajos, visiblemente importantes de exploración/barrenación de los años 1990. De todos modos, estos trabajos parecen ahora discontinuados, sin que alguna actividad minera haya sido empezada allí posteriormente. Parece por lo tanto permitido pensar que estos resultados no hayan sido muy importantes por lo que al volumen mineralizado se refiere y que hubiese podido esperarse por la extensión superficial de la zona de alteración que corresponde al prospecto.

A pesar de sus extensas zonas de alteración hidrotermal, de sus indicios de superficie y eventualmente de los pequeños cuerpos mineralizados explotados en el pasado en las áreas respectivas (e.g., Mesa de Galindo), en ningún otro caso la exploración industrial parece haber tenido un resultado positivo en ninguno, de todas maneras, el desarrollo de una actividad extractiva industrial siguió la(s) fase(s) de exploración.

Es bien sabido que no a todos los sistemas, que por su litología y alteración hidrotermal aparecen como “porphyries”, corresponde una mineralización metálica diseminada, es decir de tipo “porphyry”, ya que existen también “porphyries” vacíos (“barren porphyries”).

Sería fácil concluir que las grandes zonas de anomalías de color y alteración hidrotermal que han sido objeto de las exploraciones industriales corresponden sencillamente a sistemas de “barren porphyries”. Pero una tal conclusión aparece, más que sencilla, simplista toda vez que se toman en cuenta el cuerpo mineralizado de Cuatro Hermanos (que ciertamente “barren” no es) y la

multitud de pequeños cuerpos mineralizados del área (ver plano anexo), que en su conjunto indican un fenómeno mineralizante regionalizado, razonablemente relacionable con el Arco Eoceno. En otras palabras, nos encontramos frente al dilema siguiente: aparentemente todas las condiciones están reunidas para hacer suponer - e hicieron suponer, a través de los años, a los geólogos de varias compañías que invirtieron dinero en la exploración - la existencia en el área de diferentes cuerpos mineralizados potencialmente e industrialmente económicos y sin embargo cuerpos de este tipo no se han podido encontrar.

Los métodos, las observaciones y los razonamientos habituales de la geología no nos permitieron resolver este dilema, que probablemente nunca se hubiese puesto en manifiesto de no haber sido efectuados los trabajos de exploración mencionados arriba. Tuvimos entonces la sospecha de que las observaciones geológicas habituales no nos permitían reconocer algún fenómeno geológico que había afectado negativamente las mineralizaciones, y de que su existencia tampoco había sido sospechada por los geólogos de las compañías que efectuaron las exploraciones, mismas que tal vez no se hubiesen decidido y realizado de haberse reconocido con anterioridad aquél.

Tratamos entonces de reconocer tal fenómeno tan evasivo por medio de una técnica nueva, la de la teledetección, como se explicará en el capítulo siguiente.

## CAPITULO IV

### ESTUDIO DEL ÁREA POR TELEDETECCIÓN, LA FALLA DEL RÍO YAQUI

#### **La técnica de la teledetección.**

Desde su inicio, el hombre ha utilizado la teledetección como un mecanismo para evaluar su entorno físico y así obtener el mejor provecho del él. En tiempos primitivos utilizaba el sentido de la vista, del olfato y del oído para captar situaciones que se encontraban alejadas de él.

En la actualidad su avance tecnológico, le ha permitido utilizar herramientas más “sofisticadas”, para lograr los objetivos anteriores. Podemos mencionar algunos: la cámara fotográfica montada en un avión, el radar, satélites y telescopios, todos definidos como sensores remotos.

En particular, en geología, los sensores remotos están siendo utilizados en los últimos años, haciendo uso de satélites y sistemas computarizados para estudiar la tierra y sus recursos minerales.

En este trabajo se utilizaron de imágenes de satélite del área, obtenidas del satélite Landsat TM, tomadas en 1989. También se utilizó el programa de computadora para el procesamiento digital de imágenes, por sus siglas ILWIS. Como producto se obtuvo imágenes ya sea en tonos de gris o en falso color que fueron interpretadas visualmente en el monitor de la computadora y en planos impresos en impresoras y en plotter.



Esta interpretación visual, aunada a los datos de campo, nos llevó a considerar un marco tectónico que controla la disposición actual de los conjuntos de rocas aflorantes.

Para ejemplificar las técnicas de teledetección, consideremos las secciones de imagen del Satélite Landsat TM que cubren nuestra área, en las bandas 5, 4 y 3 de la figura siguiente (fig. 10).

Haciendo una combinación de los valores radiométricos registrados en estas bandas, para cada punto de la imagen obtenemos la siguiente imagen conocida como falso color (fig. 11).

De esta manera, podemos encontrar y/o interpretar rasgos característicos de las zonas que sean de nuestro interés.

### **La falla de bajo ángulo del Río Yaqui**

La imagen obtenida (fig. 11) y su elaboración “en tres dimensiones” (fig 12), muestran algo que, debido probablemente al tipo de relieve y a la consiguiente falta de un punto de observación favorable, que permita abarcar el área en su totalidad, había escapado a las observación directa.



Banda 5



Banda 4



Banda 3

Fig. 10 Imágenes del Satélite Landsat Tm, del área



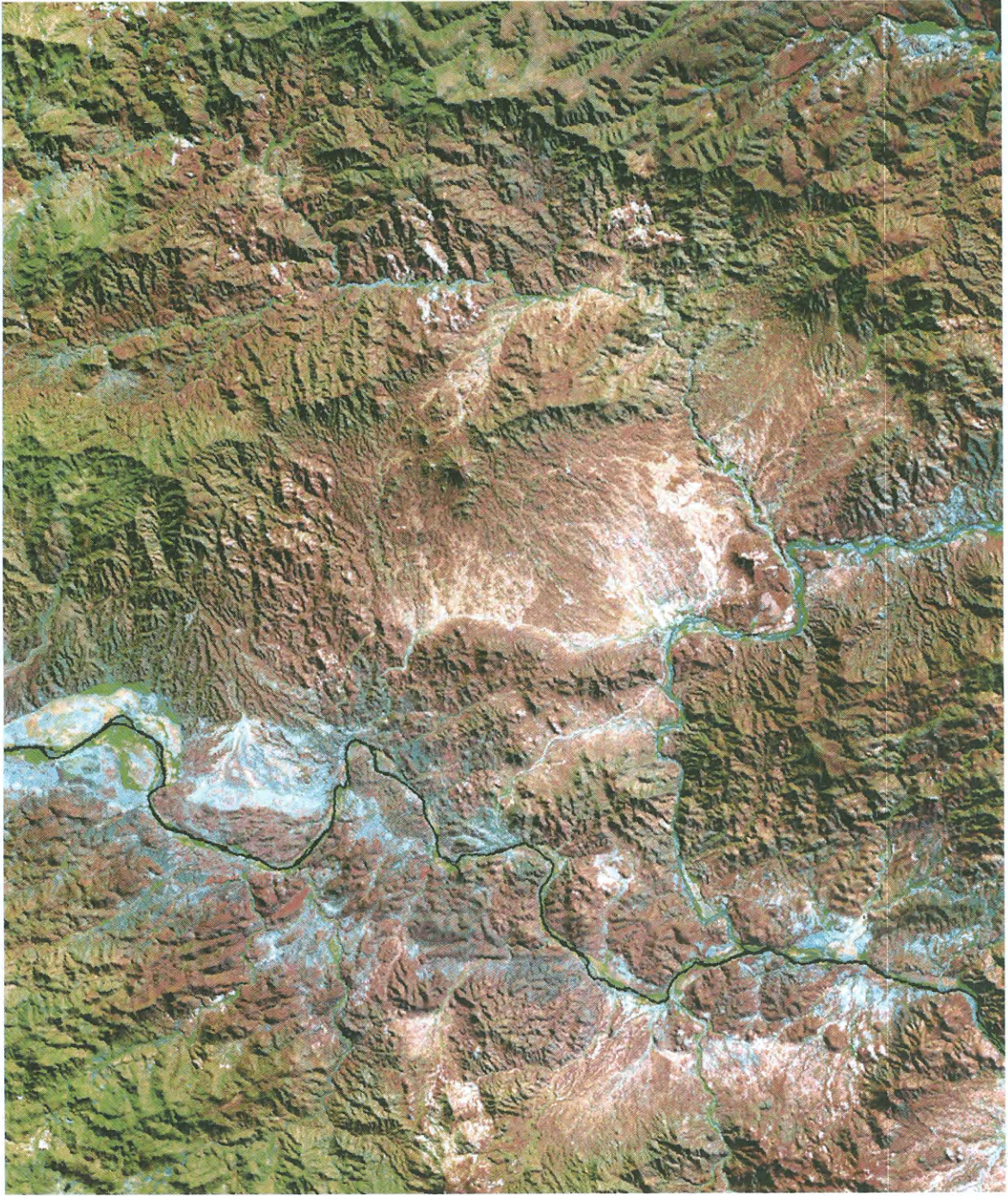


Figura 11. Composición rgb, bandas 5,4 y 3 del Satélite Landsat Tm, en el área.





FIG.12 Modelo tridimensional del área

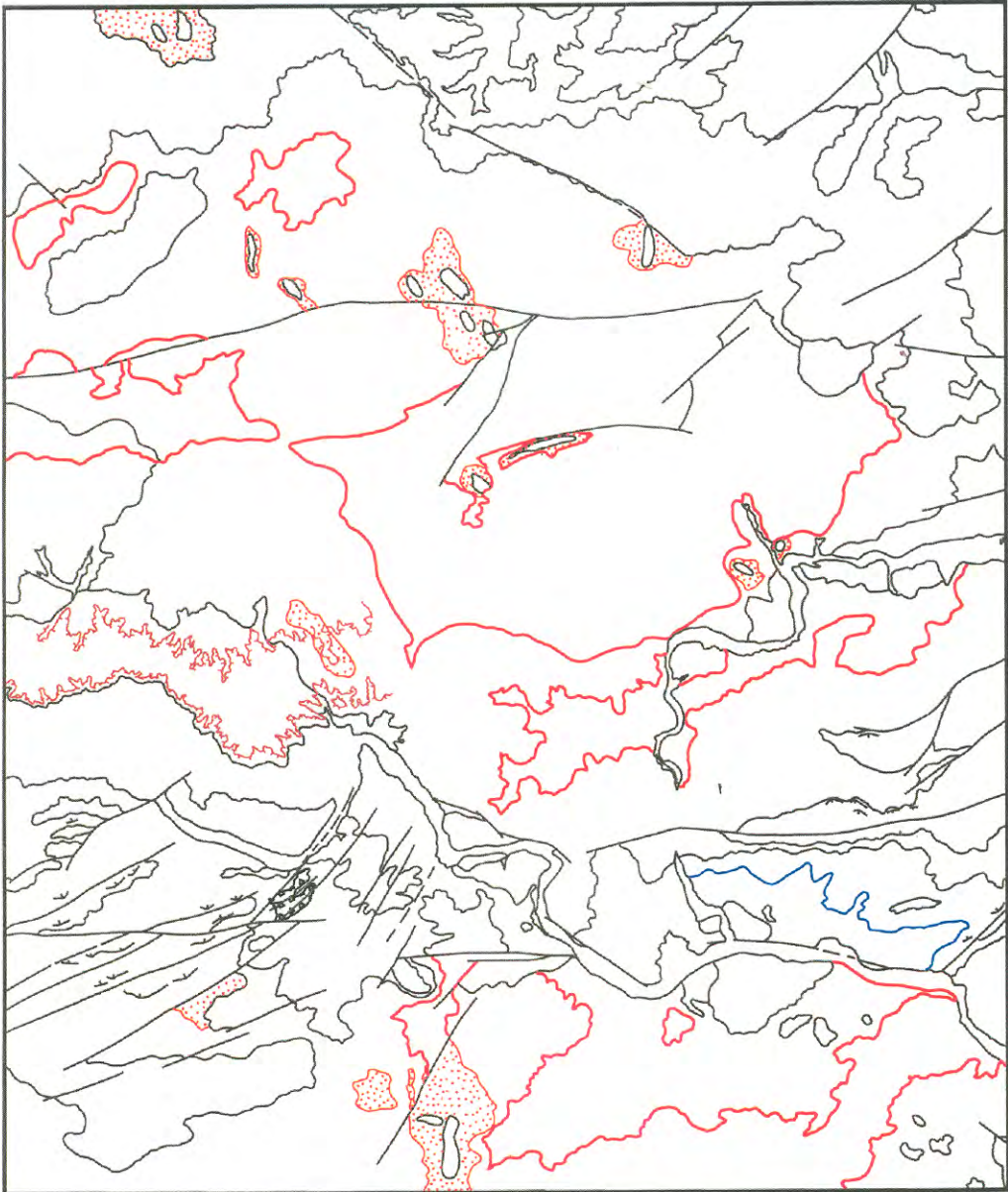
Dicha imagen sugiere en realidad con toda evidencia un límite muy neto, continuo y bien definido entre las rocas del batolito laramídico, que afloran ampliamente en la parte plana del área, y las formaciones que constituyen sus relieves. Es un límite que la erosión por sí sola no explica ni puede explicar.

Se puede inferir entonces que se trata de un límite tectónico - que por su propio andamio aparece como una estructura planar de bajo ángulo. Esta primera conclusión, fruto de la simple observación de la imagen, se confirma al reportar su traza en el mapa con curvas de nivel correspondiente y al observar sus relaciones con estas últimas, (ver mapa).

A este punto, la hipótesis de trabajo de que la estructura en cuestión es una falla de bajo ángulo se impone por sí misma.

Esta hipótesis ha sido controlada por medio de observaciones de campo. Se siguió en el campo la traza de la estructura revelada por la imagen obtenida por medio de la teledetección. Toda vez que las condiciones de afloramiento eran buenas, ha sido entonces posible observar que efectivamente a esa traza corresponde una zona de fracturas, de contacto anormal entre las rocas del batolito laramídico y las de la Formación Tarahumara suprayacentes.





Explicación

- Trazo de la falla Rio Yaqui
- Falla
- Contacto
- Terciario
- Dirección de Movimiento
- Alteración



PLANO Falta Rio Yaqui  
 HOJA LA BURA 0412075D  
 TESIS: TECTONICA DISTENSIVA  
 TERCIARIA, YACIMIENTOS Y  
 TELEDETECCION EN LA HOJA  
 LA BURA, JUNIOR CENTRAL.  
 MARZO 2000

FIG. 13 Falta Rio Yaqui



*Estas observaciones confirmaron evidentemente lo bien fundado de la hipótesis de trabajo anterior y así la interpretación según la cual una falla regional de bajo ángulo , denominada aquí Falla del Río Yaqui, afectó el área, separando las rocas del batolito laramídico de las de la suprayacente Formación Tarahumara.*

Esta conclusión da razón también de la existencia de pequeños restos, o “rezagos”, de la Formación Tarahumara que, en la parte plana del área (valle del Río Chico), se encuentran arriba de las rocas del batolito laramídico. Estos restos pueden interpretarse de hecho como rezagos dejados por el traslado de la Formación Tarahumara durante su acarreo a lo largo de la falla del Río Yaqui.

### **Extensión de la Falla del Río Yaqui**

Hacia el Oeste la Falla del Río Yaqui se hunde y no es posible observarla más y posiblemente se hunde hasta alcanzar la zona dúctil. Pero, en cambio, vuelve a aparecer hacia el Noreste.

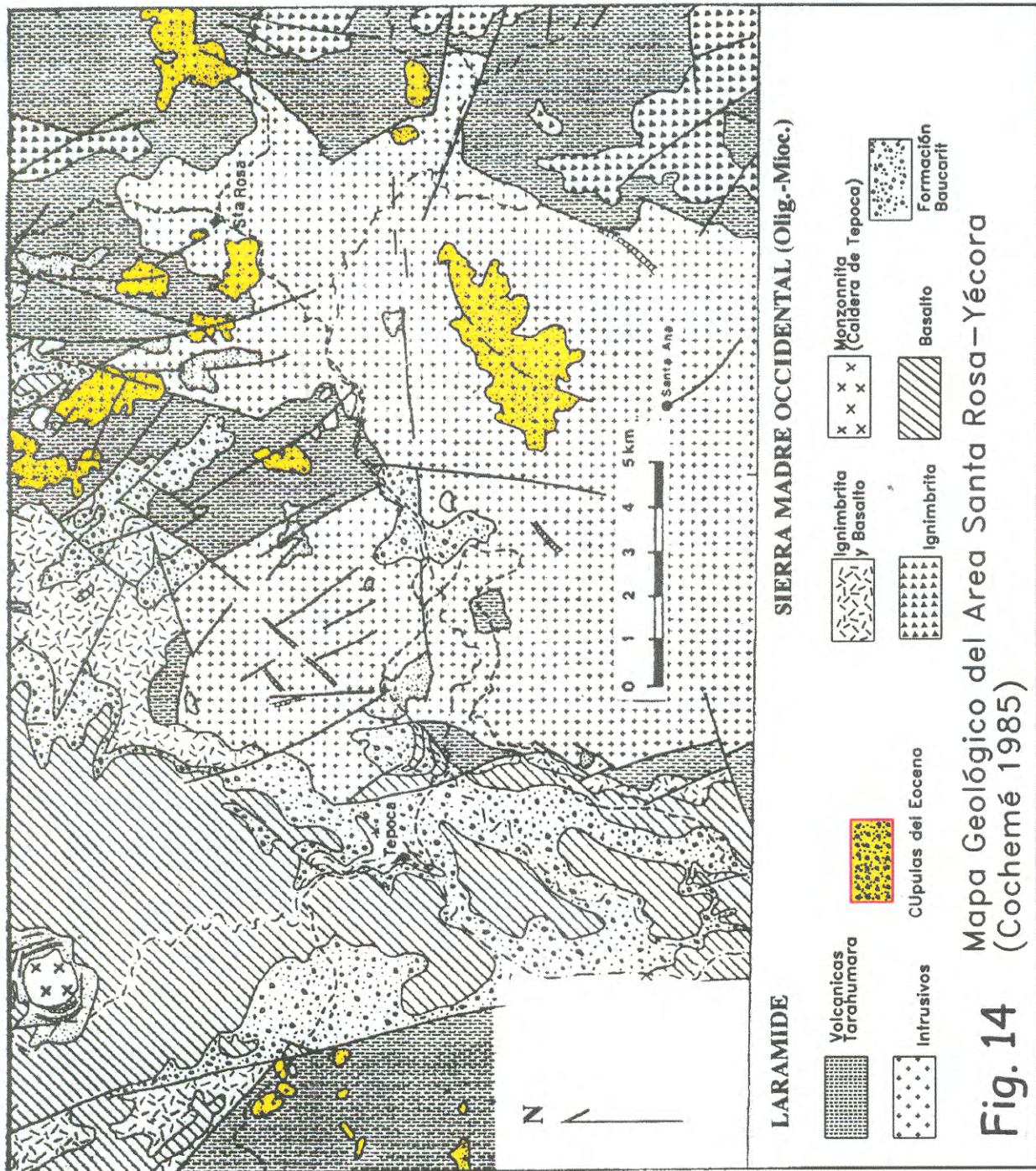
En correspondencia del valle de Santa Rosa (fig. 14) las rocas del batolito laramídico están separadas por una superficie planar de una secuencia principalmente andesítica, deformada cerca de su límite inferior. Las características litológicas de esta secuencia son tales que para un observador que venga desde el Oeste, es decir, por ejemplo, de nuestra área de estudio, no cabe duda de que se trata de la Formación Tarahumara. Entre las rocas del batolito laramídico y la secuencia indicada no se pueden observar, porque de hecho no

existen al afloramiento, ni relaciones intrusivas ni metamorfismo de contacto. Esto hizo que algunos autores (e.g., Cochemé, 1985), que no tenían razón para sospechar que su límite inferior era una falla (la Falla del Río Yaqui, entonces desconocida), la consideraran como post-batolito, es decir como eocena. Cabe anotar que esta interpretación daba origen, en realidad, a un problema estratigráfico y estructural imposible de resolver a la luz de los conocimientos posteriores acerca de la verdadera edad geológica de la Formación Tarahumara en un lugar tan cercano como el área del Rancho del Obispo y cañada homónima (McDowell et al. 1994). En otras palabras, la existencia de la falla en cuestión en el área de Santa Rosa hubiese tenido que ser de todos modos postulada. Que se trata efectivamente de una extensión de la Falla del Río Yaqui está claramente indicado por todo el contexto regional y en particular por el hecho de que la estructura de Santa Rosa tiene exactamente el mismo rol (separación planar de las rocas del batolito laramídico y de las de la Formación Tarahumara) que la Falla del Río Yaqui.

Al nivel de la cabecera oriental del valle de Santa Rosa la Falla del Río Yaqui se oculta, hacia el Este, bajo los relieves constituidos por la secuencia Oligo-miocena (riolitas y volcanismo bi-modal) típica de la Sierra Madre Occidental, mismos que forman el baluarte occidental del valle de Yécora.

El valle de Yécora mismo corresponde a una cuenca Báucarit del Mioceno, con depósitos clásticos e intercalaciones de andesitas basálticas.





**Fig. 14** Mapa Geológico del Area Santa Rosa - Yécora (Cochemé 1985)



## CAPITULO V: DISCUSION Y CONCLUSIONES.

En las páginas anteriores se ha presentado y discutido la Falla del Río Yaqui, de la cual se han mostrado también la extensión y la importancia regionales.

Esta falla reconocida gracias a la teledetección ha sido trazada, en el mapa geológico del área de estudio (ver mapa anexo).

Al observar entonces dicho mapa y el de la figura 2, se constata que *las cúpulas, las zonas con anomalías de color y alteración hidrotermal, así como las mineralizaciones asociadas con ellas se encuentran sistemáticamente y solamente al alto de la Falla del Río Yaqui, y las rocas del batolito laramídico al bajo de la misma.*

El reconocimiento por teledetección de la que ahora llamamos la Falla del Río Yaqui nos hizo estudiar en el terreno, las relaciones entre las rocas al alto y al bajo de ella, para confirmarla o invalidarla. De la misma manera, el hecho anterior nos indujo a examinar detenidamente las relaciones de las zonas de anomalías de color y alteración hidrotermal con las otras rocas del área.

Pudimos constatar entonces que en el área de estudio las zonas con anomalías de color y alteración hidrotermal, así como las mineralizaciones asociadas con ellas, de ninguna manera se extienden y continúan en las rocas del batolito laramídico subyacentes. Esto puede verse con particular claridad, por

ejemplo, en los casos del Proyecto Cuatro Hermanos y del Cerro Colorado de Río Chico. En ambos casos, las anomalías de color, la alteración hidrotermal y las mineralizaciones asociadas desaparecen brusca y totalmente (y no gradualmente) al encontrar las rocas del batolito laramídico.

De hecho, *los cuerpos rocosos marcados por las anomalías de color y la alteración hidrotermal aparecen como cuerpos ajenos a la constitución normal del área en la cual se encuentran, es decir como cuerpos alóctonos*. Relaciones que se explican gracias a la Falla del Río Yaqui, de la cual son una consecuencia.

Debido a la Falla del Río Yaqui, las rocas al alto de ella fueron desplazadas de kilómetros y tal vez decenas de kilómetros desde su posición original, es decir de su posición stratigráfica y de su base primitivas.

Recordaremos una vez más que desde los años 1970 han sido realizadas en el área de estudio diferentes campañas de exploración minera industrial, incluyendo barrenaciones, guiadas siempre por las importantes zonas de anomalías de color y alteración hidrotermal repetidamente indicadas aquí arriba. Recordaremos también que estos esfuerzos técnicos y económicos no llevaron al desarrollo de alguna nueva mina de escala industrial.

*En el contexto estructural que hemos descrito, consideramos lícito concluir que esto se debe a que, dado al desplazamiento a lo largo de la Falla del Río Yaqui, la parte inferior y principal de los cuerpos mineralizados, a cuya parte superior corresponden las zonas de anomalías de color y alteración hidrotermal del área, ya no se encuentran abajo de estas últimas, y pueden de hecho encontrarse a kilómetros o decenas de kilómetros de ellas.*

Si esta interpretación es correcta - y con la debida reserva por lo que, por su propia extensión, al Proyecto Cuatro Hermanos se refiere - no existe la posibilidad de un descubrimiento en el área de cuerpos mineralizados (Cu, Mo, Au) de verdadero interés industrial, a la cual habían hecho pensar sus importantes zonas de anomalías de color y de alteración hidrotermal.

Existen en cambio grandes posibilidades de depósitos, especialmente auríferos y argentíferos, que pueden permitir, con métodos modernos y económicos de explotación como el de la cianuración (*heap leaching*), el desarrollo de una minería mediana a pequeña. La antigua mina de La Dura y sobre todo la mina actual del Golfo de Oro lo comprueban.



## BIBLIOGRAFIA

- BOCKHOVEN, N.T., 1980, Reconnaissance geology of the Yecora-Ocampo area, Sonora and Chihuahua, Mexico: Ph. D. Thesis, Univ. Of Texas, Austin.
- BRONNER, G. and RADELLI, L., 1996, Study of a NE-SW Eocene compressive phase in the Paleocene granites of the Aconchi Massif, Central Sonora, Mexico. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, v, 13, n. 2, p. 1-9.
- BARTOLINI, C., MORALES, M., DAMON, P. And SHAFIQUILLAH, M., 1991, Geology and geochronology of the sierra Lista Blanca, central Sonora, Mexico: a Progress Report, Bol. Depto. Geol. Uni-Son, v, 8, N° 1, p. 1-5.
- COCHEME, J.J. and DEMANT, A., 1991, Geology of the Yecora area, northern Sierra Madre Occidental, Mexico. In PEREZ-S., E., and JACQUES-A., C., eds, Studies in Sonoran Geology, Geol. Soc. Amer., Special Paper 254, p 81-94.
- COCHEME, J.J., 1985, Le magmatisme cénozoïque dans le nord-ouest du Mexique, Cartographie de la région Yecora-Maicoba-Mulatos: illustration magmatique de la fin d'un régime en subduction et du passage à un régime distensif. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. D' Aix-Marseille, France.
- DAMON, P., SHAFIQUILLAH, M., ROLDAN, Q. J., y COCHEME, J. J., 1983, El Batolito Laramide (90-60 M.a.) de Sonora. In memoria de Mexico, A.C., P. 63-95.
- DAMON, P., 1989, Evidence for origin of the rhyolic-andesite-doreite series by crustal melting during Mid-Tertiary orogeny in southwestern Arizona. In JENNEY, J. P., and REYNOLDS, S.J., eds., Geologic evolution of Arizona: Tucson, Arizona Geological Society Digest, 17, 9. 575-583.

- DE LA O VILLANUEVA, M., 1993, Sedimentología y Petrografía de la Formación Báucarit (Mioceno) en la cuenca de Tónichi-La Dura, Sonora, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesis de Maestría.
- DUMBLE, E. T., 1900, Notes on the Geology of Sonora, México. Am. Inst. Min. Met. Trans. 29: 122-152.
- CALLES, M.R., 1999, Evolución tectosedimentaria de las cuencas terciarias: Porción sur de la cuenca de Ures y Punta de Agua, Sonora central, México.
- CRUZ FRISBY F.P., 1989, Reconocimiento Geológico de la Hoja LA DURA (H12D75) en el Sureste de Sonora, México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería, Arquitectura y Ciencias de la Tierra, tesis.
- KEIZER, R.P., 1973, Volcanic stratigraphy, structural geology, and K-Ar geochronology of the Durango area, Durango, Mexico: Austin, Univ. Texas at Austin, M.A. thesis.
- KING, R. E., 1939, Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico, Geol. Soc. Am. Bull., 50, 11, 1625-1722.
- KLITGORD, K., D., and MAMMERICK, J., 1982. North East Pacific Rise; magnetic anomaly and bathymetric framework., Jour. Geophys. Res., v. 87, p. 6725-6750.
- LUCERO BERNAL, V., and RADELLI, L., 1993, Eocene-Middle Miocene structural evolution of NW Mexico (Sonora and Baja California), In GONZALEZ-LEON, C. Y L. VEGA GRANILLO, L., eds., Resúmenes, III Simposio de la Geología de Sonora y áreas adyacentes, Hermosillo, Sonora, México, 29 de marzo a 2 de Abril 1993, p.69-71, 1 fig.



- MACIAS VALDEZ, G., 1992, Geoquímica (elementos, mayores, trazas y Tierras raras) del granito de Huépac (Sonora): Implicaciones genéticas y tectónicas, Tesis profesional, Depto. de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- MAMMERICK., J., and KLIT GORD, K. D., 1982, North East Pacific Rise: Evolution from 25 m.y. B.P. to the present. Jour. Geophys., Res., v 87, p. 6751-6759.
- McDowell, Fred W., and Clabaugh, S. E., 1981, The igneous history of the Sierra Madre Occidental and its relation to the tectonic evolution of Western Mexico, UNAM, Inst. Geología, revista, vol. 5 núm. 2, p. 195-206.
- McDowell, Fred W., Roldán Quintana, Jaime, Amaya Martinez, Ricardo, and González Carlos Moisés, 1994, The Tarahumara Formation Neglected Component of the Laramide Magmático Arc in Sonora: Unión Geofísica Mexicana, Boletín Informativo, Epoca II, Volúmen 14, N° 5.
- MEAD, R. D., KESLER, S. E., FOLAND, K. A., and Jones, L. M., 1998, Relationship of Sonora Tungsten mineralization to the Metallogenic Evolution of Mexico. Economic Geology, v. 83, p. 1943-1965.
- ORNELAS, SOLIS, RAMON, E., 1992, "Ensayo de interpretación geológica estructural de los datos Geoquímicos y Radiométricos de las rocas ígneas del intervalo 220 a 67+10 ma del NW de Mexico, Tesis Profesional, Departamento de Geología, Uni-Son.
- ORTIZ, JACOME, ADRIANA, 1998, Evolución Tectónica del área de San Javier, B. C. S., Mexico, Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Baja California, Sur, Area Interdisciplinaria de Ciencias del Mar, Departamento de Geología Marina.
- PAZ, F. A. M., 1985. Composición y origen de los basaltos (Malpaís) Plio-Cuaternarios de Moctezuma, Sonora, Mexico: Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora, México, 2,1, 9-15.



- PEREZ. SEGURA. E., and Ceilietz, A., 1991, Mineralization and age of San Francisco Gold Deposit. Northern, Sonora, Mexico., Mining Expl. Tech. Program. SME Annual Meeting, Denver, Colorado, p. 54.
- RADELLI, L., 1985, Scheelite Deposits of Central Sonora, Mexico, Bol. Depto. Geol. UniSon, v. 2, n. 1, p. 65-73.
- RADELLI, L., LUCERO BERNAL, V., and CASTRO-LEYVA, T., 1993, Cenozoic (40 to 4.5 Ma) igneous belts of NW Mexico (Sonora and Baja California). Bol. Depto. Geol. Uni-Son, v. 10, n. 2, p. 81-96, 1 fig.
- RADELLI, L., LUCERO BERNAL, V., and MACIAS VALDEZ, G., 1995, The Huepac Continental Volcanic Arc of central Sonora, Mexico: Eocene compressional deformation Magma Underplating, crustal melting, and magmatism. Bol. Depto Geol. Unison, v. 13, n. 1, p. 109-124.
- RADELLI, L., MACIAS-VALDEZ, G., and LUCERO-BERNAL, V., 1992, The Mid-Eocene (40 Ma) and Late Eocene (36 Ma) leucogranites and pegmatites of the Inner Cordilleran Belt of two mica  $\pm$  garnet-bearing plutons, coeval rhyolites, and related mineralization in Central Sonora, Mexico. In CLARK, K.F., ROLDAN, J., and SCHMIDT, R.H., Eds., Guidebook for 1992 Field Conference, El Paso Geological Society, p.385-400, 12 figs.
- RADELLI, L., THIERRY, CALMUS, DIANA, MEZA, F., and TITO REY MONTAÑO, J., 1990, Structural, Asymmetry, of the North-Central part of the Miocene Paleogulf of California. Bol. Depto. Geol. Uni-Son., vol., 7, n. 1 y 2, p. 49-58.
- RADELLI, L., and Valentina LUCERO BERNAL, 1996, Granitoids and mineralizations of the Eocene ( $\pm$  50-40 Ma) Continental Volcanic Arc of Sonora, México: Bol. Depto. Geol, Unison Vol. 13, N° 1, p. 117-128.

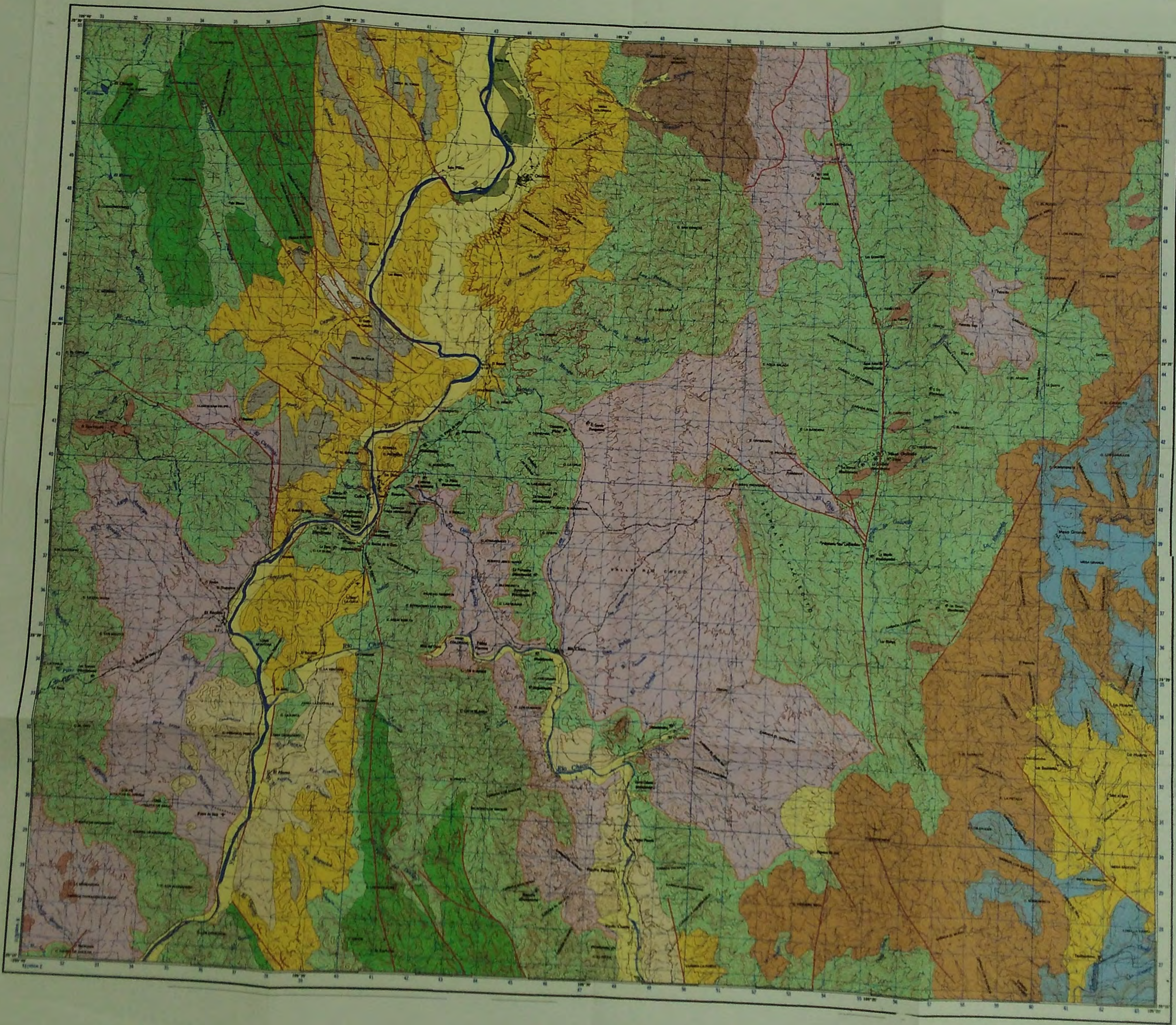
- RADELLI, L., and Valentina LUCERO BERNAL, 1996, Granitoides del Eoceno y sus Mineralizaciones. Conferencia Magistral. CESUES, III Encuentro con Geociencias, (Tema: Ciencia y Tecnología en la Industria Minera), Libro de Resúmenes, Hermosillo, Sonora, México, 27-29 de Noviembre de 1996.
- RADELLI, L., and VALENTINA LUCERO-BERNAL., 1997, The Eocene Volcanic Arc at the Sierra De Las Minas, SE of San Pedro de la Cueva, Sonora, Mexico. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 14 n. 1, p. 63-74.
- RADELLI, L., 1998, El Arco Magamático Eoceno de Sonora y sus Mineralizaciones. Memorias III Seminario Minero Sonora 2000, AIMMGM., A. C.
- RADELLI, L., 1999, Evolución Cenozoica de la porción Sonora-Baja California Sur de la Margen Norteamérica., En el VI encuentro con Geociencias, CESUES.
- RADELLI, L., 1999, Evolución Cenozoica del Golfo de California. Proceedings of the VII-RCPNS Congress with your colaborations and by the courtesy of Prof. Molina-Cruz of UNAM and of the "Revista Mexicana de Ciencias Geológicas".
- SAEGART, W. E., SELL, J.D., and KIL PATRICK, B.E., 1974, Geology and Mineralization of the Caridad Porphyry Copper Deposit, Sonora, Mexico, Econ. Geol., v. 69, p. 1060-1077.
- SHERIDAN, M., F., WILSON, R.T., and JHONPEER, G.D., 1979, Geology of the coastal region near Guaymas, Sonora. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, v. 2, n. 1, p. 1-15, Hermosillo, Sonora, Mexico.
- SWANSON, E. R., KEIZER, R. P., LYONS, J. I., and CLABAUGH, S. E., 1978, Tertiary volcanism and caldera development in the Durango City area, Sierra Madre Occidental, Mexico: Geol. Soc. America Bull., v. 89.

VIDAL, S., JESUS, 1998, "Contribución al estudio del evento volcánico terciario Pre-Pinacate, campo El Pinacate NW de Sonora: Cartografía, Petrografía y Geoquímica".

WILSON, I. F. and ROCHA, V. S., 1946, Los yacimientos de carbón de la región de Santa Clara, Municipio de San Javier, Estado de Sonora, - Com. Dir. Inv. Rec. Min., México, Bol. 9.

ZOBACK N. L., Anderson R. E., THOMPSON, G. A., 1981, Cenozoic Evolution of the State of Stress and Style of Tectonism of the Basin and Range Province of the Western United States., Phil. Trans. R. Soc. Lond., v. 300, pp. 407-434.





Explicación

- Triásico superior
- Fmación Santa Clara
- Cretácico superior-Paleoceno
- Formación Tarahumara
- Secuencia inferior
- Secuencia superior
- Batolito Laramidico de Sonora
- Cenozoico
- Arco Eoceno (cúpulas)
- Oligoceno Mioceno
- Ignimbrita Riolítica a Riodacítica
- Andesita Basáltica
- Mioceno
- Formación Báucarit
- Mioceno-Superior
- Basaltos
- Formación Lista Blanca
- Mioceno-Superior
- Terraza
- Aluvial
- Falla
- Contacto
- Terrazado
- Dirección de movimiento
- Alteración

Esc. 1:50,000  
 500 0 1000 2000 mts



PLANO GEOLOGICO  
 HOJA LA DURA  
 TESIS TECTONICA DISTENSIVA  
 TERCIARIA, YACIMIENTOS Y  
 TELEDETECCION EN LA HOJA  
 LA DURA, SONORA, CENTRAL.  
 MARZO, 2000  
 ELABORADO POR:  
 PORFIRIO SOSA