



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

## DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

### DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TESIS:

"Reconocimiento de las facies intrusivas  
en el área de Tónichi, Sonora: Petrografía,  
Geocronología y Geoquímica de elementos trazas"

PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE:

**GEÓLOGO**

POR:

**Jaime Gabriel Pacheco Hoyos**

HERMOSILLO, SONORA. ABRIL DE 2013.



# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



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



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



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología  
División de Ciencias Exactas y Naturales

Hermosillo, Sonora, México, 11 de Febrero 2013

Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado  
Jefe del Departamento de Geología  
Presente

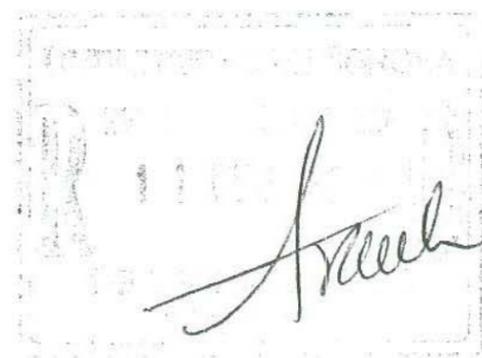
Por este conducto y de acuerdo con los lineamientos establecidos, me permito solicitarle su aprobación para la propuesta del siguiente tema de tesis, nivel de Licenciatura, "*Reconocimiento de las facies intrusivas en el área de Tónichi, Sonora: Petrografía, Geocronología y Geoquímica de elementos trazas*".

Este trabajo de tesis, con un avance prácticamente en la etapa final, está siendo desarrollado por el estudiante-tesista *Jaime Gabriel Pacheco Hoyos*, con número de expediente: *208204429*. Tomando en consideración el avance del mismo, se estima que su presentación y defensa correspondiente se pudiera efectuar el próximo mes de Marzo del presente año.

Aprovecho la ocasión para solicitarle, de acuerdo con las sugerencias del tesista mismo, que en la integración del jurado correspondiente se considere la inclusión de los siguientes maestros-investigadores: Dr. Francisco A. Paz Moreno; Dr. Ricardo Vega Granillo, M.C. Ricardo Amaya Martínez y Dr. Martín Valencia Moreno; este último adscrito al Instituto de Geología-UNAM, Estación Regional en esta ciudad.

Sin otro particular y agradeciendo anticipadamente su atención y aprobación a esta solicitud, reciba mis mejores consideraciones.

M.C. Ricardo Amaya Martínez  
Maestro de Tiempo Completo  
Director de tesis.



C.c.p. M.C. Francisco J. Grijalva Noriega, Coordinador del Programa de Licenciatura.  
C.c.p. Estudiante-Tesista, Jaime Gabriel Pacheco Hoyos.  
C.c.p. Expediente.



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología  
División de Ciencias Exactas y Naturales

15 de febrero, 2013

**M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ**  
DIRECTOR DE TESIS  
PRESENTE.-

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por  
Usted intitulado:

**"RECONOCIMIENTO DE LAS FACIES INTRUSIVAS EN EL AREA DE TONICHI, SONORA:  
PETROGRAFIA, GEOCRONOLOGIA Y GEOQUIMICA DE ELEMENTOS TRAZAS"**

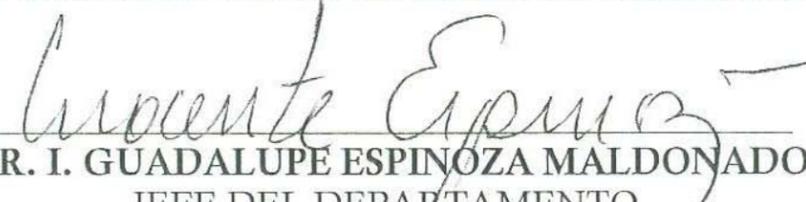
Esto es con el fin de que el alumno **JAIME GABRIEL PACHECO HOYOS**, pueda  
presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura. Asimismo le  
comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

**DR. FRANCISCO ABRAHAM PAZ MORENO**  
**DR. RICARDO VEGA GRANILLO**  
**M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ**  
**DR. MARTIN VALENCIA MORENO**

**PRESIDENTE**  
**SECRETARIO**  
**VOCAL**  
**VOCAL**

Sin otro en particular, quedo de Usted.

**A T E N T A M E N T E**  
**"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"**

  
**DR. I. GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO**  
JEFE DEL DEPARTAMENTO.



El saber de mis hijos  
hará mi grandeza  
**DEPARTAMENTO**  
**DE GEOLOGIA**

C.c.p. Archivo.



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

**NOMBRE DE LA TESIS:**

**"RECONOCIMIENTO DE LAS FACIES INTRUSIVAS EN EL  
AREA DE TONICHI, SONORA: PETROGRAFIA,  
GEOCRONOLOGIA Y GEOQUIMICA DE ELEMENTOS TRAZAS"**

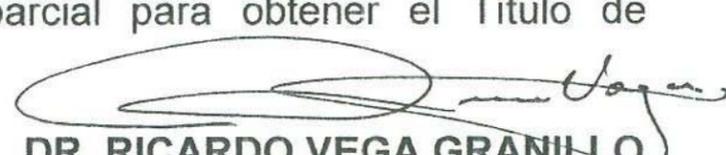
**NOMBRE DEL SUSTENTANTE:**

**JAIME GABRIEL PACHECO HOYOS**

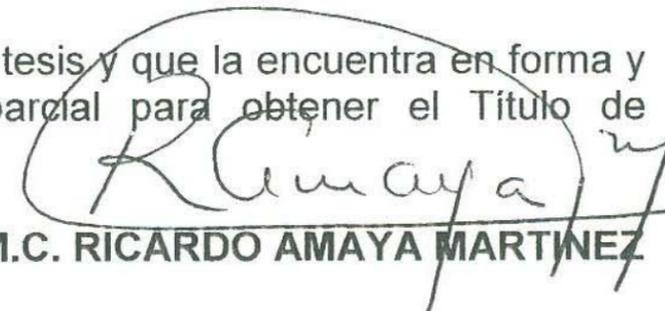
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

  
**DR. FRANCISCO ABRAHAM PAZ MORENO**

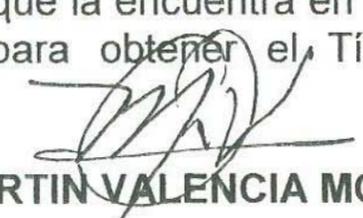
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

  
**DR. RICARDO VEGA GRANILLO**

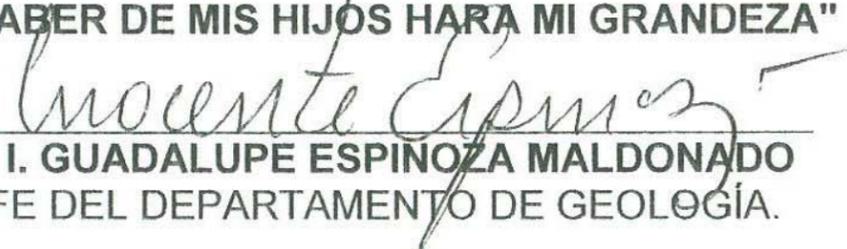
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

  
**M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ**

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

  
**DR. MARTIN VALENCIA MORENO**

**ATENTAMENTE  
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"**

  
**DR. I. GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA.**

C.c.p. Archivo.



El saber de mis hijos  
hará mi grandeza  
**DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA**

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a mi familia, a mis padres y mis hermanos los cuales siempre me han apoyado en mis estudios y en general en mi vida, muchas gracias.

Agradezco a mi tutor de tesis, el M.C. Ricardo Amaya Martínez, por haberme aceptado en este proyecto de tesis y apoyarme tanto para poder llevar a cabo el trabajo de campo.

Al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y a la División de Ciencias Exactas y Naturales, por apoyarme financieramente para poder llevar a cabo este trabajo, tanto para cuestiones de campo como para estancias.

A las personas del Centro de Geociencias (CGEO) en Querétaro y a la institución en sí, principalmente al Dr. Gerardo de Jesús Aguirre Díaz que me acepto tutorar durante una estancia de verano en 2012 y proporciono el financiamiento para la geoquímica, también agradezco mucho al Dr. Alexander Iriondo, por su amistad, tutoría en el laboratorio de separación de minerales y por financiar las muestras de Geocronología, así como proporcionar el procesado de los datos y de las imágenes de Cátodo luminiscencia.

También agradezco a mis sinodales Dr. Francisco A. Paz Moreno, Dr. Ricardo Vega Granillo y Dr. Martin Valencia Moreno, por ayudarme a revisar esta tesis en base a los tiempos que eran requeridos por mi persona.

Quiero agradecer a todas las demás personas que me ayudaron durante la estancia en el CGEO, pero quiero hacer énfasis en la M.C. Ofelia Pérez Arvizu, quien me enseñó mucho sobre la preparación de las muestras de geoquímica y también por terminar el preparado de las mismas después de que terminé mi estancia en el CGEO, igualmente quiero agradecer a Aldo Izaguirre Pompa y Mayra Alejandra Gonzales Villanueva, por terminar las probetas de los zircones que desafortunadamente no me alcanzó el tiempo para aprender a hacerlas, gracias por ayudarme en ese paso.

Agradezco a la Academia Mexicana de Ciencias por financiarme la estancia de investigación en el CGEO, en el marco del XXII Verano de la Investigación Científica.

Al Lic. Marcos Velderrain Aguilar y su familia, por aconsejarnos sobre los peligros el área de estudio y ofrecernos acceso a su rancho "El Encino", también al rancharo José Luis Aro Maldonado por su hospitalidad y al rancharo José Esteban Aguilar por su amistad y todas las atenciones prestadas (también por enseñarnos a buscar agua subterránea con una barita).

A la Familia Amaya de Tónichi, por siempre ofrecernos consejo sobre el área y recibirnos con hospitalidad en su casa.

No podría dejar de mencionar a David García Martínez y Gonzalo de Jesús Ibarra, por su amistad, a David por ser un compañero durante la estancia en el CGEO y a Gonzalo por su ayuda en campo.

Al Dr. Saúl Herrera Urbina, por permitirme usar la cámara del microscopio de su oficina, al M.C. Alfredo Ochoa Granillo por proporcionarme el programa ArcGis y al Dr. Jesús Roberto Vidal Solano por aportar el programa Igpct, usado para procesar los datos geoquímicos.

Quiero hacer mención especial al M.C. Francisco Grijalva Noriega, siempre me beneficié de sus consejos.

Agradezco la atención prestada por Alejandra Marisela Gómez Valencia, quien me ayudó en la trituración de las muestras de geoquímica.

También a mis amigos Luis Alberto Palomino Medina y Jorge Ulloa por acompañarme a campo y a los compañeros de la Universidad Aaron Húñez, Rogelio Campos, Carlos Cons y Ángel Olguín por ser buenos amigos durante varios años.

## RESUMEN

En el área de estudio aflora una unidad de rocas ígneas plutónicas ubicadas entre el Cretácico Tardío y el Terciario. Dicha unidad tiene varias facies y en este trabajo se han descrito tres principales: la primera es la facies denominada granito Tónichi, principalmente compuesto por leucogranitos y sienitoides de cuarzo que se caracterizan por la presencia de mica y granate, la mineralogía sugiere un evento magmático peraluminoso; la segunda es la facies denominada granitoides, corresponde a rocas graníticas-granodioríticas que se pueden asociar con las rocas laramídicas terciarias de Sonora central y; la tercera es una facies que se ha denominado dioritoides Carricito, compuesta principalmente por cuarzo dioritas de hornblenda con esfena como mineral accesorio, esta facies tiene características geoquímicas más parecidas a las de rocas plutónicas de la zona costera de Sonora y de la porción este del batolito de la Sierras Peninsulares que a las de los eventos intrusivos más abundantes de Sonora central. La datación radiométrica de los dioritoides Carricito dio una edad de 98 Ma, esto la ubica como la roca intrusiva más antigua reportada en Sonora central.

*Reconocimiento de las facies intrusivas en el área de Tónichi, Sonora:  
Petrografía, Geocronología y Geoquímica de elementos trazas*

|   |   |
|---|---|
| - AGRADECIMIENTOS.                            |   |
| - RESUMEN.                                    |   |
| - I. INTRODUCCIÓN                             |   |
| 1.1 Temática de estudio.                      | 1 |
| 1.2 Objetivos.                                | 1 |
| - II. GENERALIDADES.                          |   |
| 2.1 Fisiografía, geomorfología e hidrografía. | 2 |
| 2.2 Localización Geográfica.                  | 2 |
| 2.3 Vías de acceso, localidades y ranchos.    | 4 |
| - III. BOSQUEJO GEOLOGICO REGIONAL.           |   |
| 3.1 Geología regional.                        | 5 |
| 3.2 Trabajos previos.                         | 5 |
| - IV. METODOLOGIA DE TRABAJO.                 |   |
| 4.1 Metodología de campo.                     | 6 |
| 4.2 Metodología de Gabinete.                  | 6 |
| 4.2.1 Preparación de láminas delgadas.        | 6 |
| 4.2.2 Preparación de muestras de geoquímica.  | 6 |
| 4.2.3 Separado de Circones.                   | 7 |
| 4.2.4 Software.                               | 7 |
| - V. TRABAJO DE CAMPO.                        |   |
| 5.1 Reconocimiento de unidades.               | 8 |
| 5.2 Relaciones de campo y mapa geológico.     | 9 |

|  |    |
|--|----|
| - VI. PETROGRAFIA.                             |    |
| 6.1 Granito Tónichi.                           | 16 |
| 6.2 Granitoides.                               | 18 |
| 6.3 Dioritoides Carricito.                     | 18 |
| 6.4 Diques intermedios de grano fino.          | 20 |
| - VII. GEOQUIMICA Y GEOCRONOLOGÍA.             |    |
| 7.1 Geocronología.                             | 21 |
| 7.1 Geoquímica: Granito Tónichi.               | 22 |
| 7.2 Geoquímica: Granitoides.                   | 23 |
| 7.3 Geoquímica: Dioritoides Carricito.         | 24 |
| 7.5 Análisis y comparación con otros trabajos. | 25 |
| - VIII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.              |    |
| 8.1 Discusión.                                 | 28 |
| 8.3 Conclusiones.                              | 29 |
| 8.2 Prospectivas.                              | 30 |
| APENDICE 1. DATOS DE GEOQUIMICA.               | 31 |
| APENDICE 2. DATOS DE GEOCRONOLOGÍA.            | 33 |
| BIBLIOGRAFIA.                                  | 35 |

# **I. INTRODUCCIÓN.**

## **1.1. Temática de estudio.**

Las rocas intrusivas son producto de magmas enfriados en el interior de la tierra, la principal característica que desarrollan es el crecimiento de cristales grandes dado que a profundidad la temperatura del sistema se mantiene relativamente alta durante periodos largos de tiempo ocasionando tasas altas de crecimiento cristalino, pero algunas rocas intrusivas pueden emplazarse muy cerca de la superficie generando rocas de grano muy fino las cuales requieren en muchas ocasiones la descripción del contacto geológico en el campo para poder diferenciarlas de las rocas volcánicas, en otras ocasiones el proceso de crecimiento cristalino incrementa por efecto del alto contenido de volátiles en el magma.

Las rocas ígneas o magmáticas son producto de procesos tectónicos y geodinámicos, para identificar a qué ambiente geológico pertenecen se requiere analizar las características mineralógicas, petrográficas, geoquímicas, geocronológicas y de emplazamiento de las rocas. Todo esto ha sido generado por el estudio detallado de los eventos magmáticos en contextos tectónicos y geodinámicos conocidos y posteriormente conforme la recolección de conocimiento avanza, las rocas ígneas se vuelven una herramienta muy poderosa para adentrarse más detalladamente en el entendimiento del sistema planeta tierra. En el caso de las rocas intrusivas, se ha tratado de hacer simplificaciones sobre las características de las mismas en relación con el ambiente geológico de formación, un ejemplo es el trabajo de Barbarin (1999) enfocado en los granitoides, aunque es muy claro que los sistemas geológicos son muy complejos como para poder hacer una recopilación sistemática de información que permita identificar fácilmente el ambiente de formación de las rocas intrusivas, por eso es que se debe hacer un estudio que complemente diversos tipos de datos para poder hacer una proposición sobre su significado.

## **1.2. Objetivos.**

Primordialmente esta tesis busca reconocer las facies intrusivas del área de estudio, asignarlas un nombre y presentar sus principales características para que de esa forma sean posteriormente identificadas y estudiadas mas a detalle basándose en este trabajo que funge como un cimiento para estudios más detallados.

También es importante determinar si los eventos magmáticos reportados en el área de estudio realmente están ahí, lo cual es parte importante de este trabajo ya que las rocas intrusivas han sido propuestas como parte de una unidad muy generalizada de intrusivos laramídicos pero nunca se ha hecho un estudio directo sobre las rocas de la zona.

## II. GENERALIDADES.

### 2.1. Fisiografía, geomorfología e hidrología.

El área de estudio está localizada en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, la figura 2.1 muestra las provincias fisiográficas de México presentadas por el INEGI.

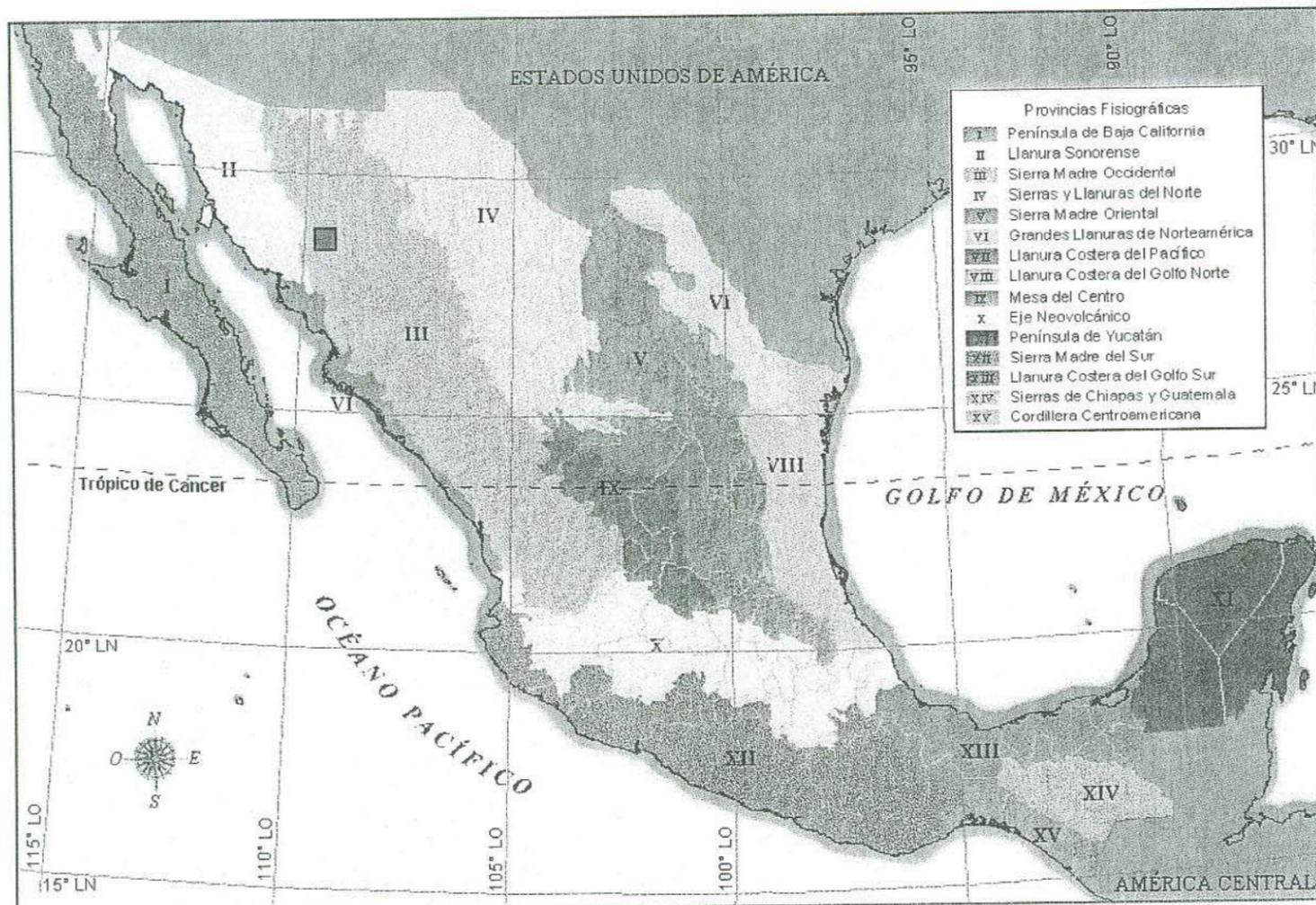


Figura 2.1. Provincias fisiográficas de México, el área de estudio se encuentra contenida en el polígono cuadrado.

Se trabajó mayormente sobre una zona serrana sin cuencas grandes en la misma, hacia el oeste la zona serrana disminuye y se entra en un gran valle que es atravesado por el río Yaqui, el cual está a unos 4 kilómetros de la parte suroeste del área de estudio y es el aspecto hidrográfico más destacable. Geomorfológicamente el valle del río Yaqui (orientado más o menos norte-sur) tiene dos altos topográficos adyacentes generando el arreglo de sierras y valles que es común en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental.

### 2.2. Localización geográfica.

La superficie considerada en este trabajo abarca alrededor de 90 Km<sup>2</sup>, aunque sólo una parte fue trabajada directamente en campo. Las coordenadas que limitan la periferia del área de estudio son mostradas en la figura 2.2, que es una porción de la carta topográfica



### **2.3. Vías de acceso, localidades y ranchos.**

Para acceder al área de estudio desde Hermosillo se toma la carretera federal numero 16 (La Colorada – Yécora) para llegar a la desviación hacia el poblado de Tónichi, que es el más cercano al área de estudio, dicha desviación esta poco después del puente del río Yaqui. Al llegar a Tónichi se puede tomar un camino de terracería ubicado hacia el este y que lleva hacia el cerro El Soberbio, en la parte norte del mismo hay varios ranchos que sirven de acceso hacia diversas zonas, aunque no se tuvo contacto con las personas en dichos ranchos.

La línea discontinua de la figura 2.2 marca los caminos de terracería, hay uno que se bifurca justamente en la zona ubicada entre la parte sur del Cordón El Agua Caliente y la parte norte del cerro El Soberbio, aquí es recomendable solamente usar la bifurcación que va hacia el norte aunque esto implica hablar con los dueños del rancho El Encino que esta aun mucho más al norte, esto es porque hay una puerta con candado poco después de la bifurcación.

Por la carretera federal numero 16, rumbo al este y poco después de la desviación hacia Tónichi hay otra desviación que permite acceder más fácilmente a la porción sur del cerro El Soberbio.

### **III. BOSQUEJO GEOLOGICO REGIONAL.**

#### **3.1. Geología regional.**

Este trabajo se enfoca en los eventos magmáticos en Sonora central ubicados desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno. La primera recopilación de datos sobre el magmatismo durante esas épocas en Sonora fue el de Damon et al. (1983) donde se definió como el Batolito Laramide de Sonora a las rocas magmáticas asociadas a un arco continental con edades de 90-40 Ma. Posteriormente McDowell et al. (2001) y Roldán-Quintana et al. (2009) han publicado trabajos que tratan sobre la recopilación de datos geoquímicos y geocronológicos relacionados al magmatismo del Cretácico Tardío – Terciario en partes del centro y sur de Sonora, en resumen, se puede identificar que hay un magmatismo relacionado a un arco continental en el periodo descrito por Damon et al. (1983), sin embargo algunos datos muestran que este magmatismo llegó más pronto a zonas de Sonora donde se pensaba que las edades tendrían que ser más jóvenes y también se menciona como probable que la migración temporal del magmatismo en Sonora de oeste a este, asociada a un continuo y homogéneo cambio del ángulo de subducción de la placa Farallón, no sea un proceso que haya tomado lugar en Sonora, sino que la complejidad en la variabilidad de edades podría ser efecto de una serie de arcos magmáticos que se sobreponen y tuvieron periodos de vida largos (McDowell et al., 2001).

#### **3.2. Trabajos previos.**

El trabajo de Barrera-Moreno y Domínguez-Perla (1987) incluye el área de estudio, aunque no se hace énfasis en los intrusivos dado que es un trabajo orientado hacia las rocas sedimentarias. También se tiene como referencia la cartografía a semidetalle 1:50000 de la carta H12-D65 hecha para PEMEX (Amaya-Martínez., 1987), que también abarca el área de estudio aunque solamente considera una unidad generalizada definida como plutones del Cretácico-Terciario. McDowell et al. (2001) utilizan esta unidad generalizada la cual es verdadera en base a lo que se ha visto, pero esta unidad claramente ha sido efecto de un mapeo meramente regional, lo cual es fácil de ver por las delimitaciones hechas para las unidades sedimentarias del Mesozoico-Paleozoico, y es que que hemos encontrado rocas metamórficas-metasedimentarias cuyos protolitos son tentativamente asociables a esas rocas sedimentarias y no han sido consideradas, esto demuestra que no se ha hecho trabajo directo de campo en el área de estudio sino que ha sido simplemente considerada como una zona de rocas plutónicas en los límites temporales más comunes para Sonora central (Cretácico-Terciario), por lo que este trabajo representa la primera descripción de las rocas plutónicas dentro de la zona en cuestión.

## **IV. METODOLOGIA DE TRABAJO.**

### **4.1. Metodología de campo.**

Se hicieron 3 campañas de campo que cubrieron 10 días totales, al ser un área desconocida, se cubrieron aspectos logísticos como recopilación de información y pláticas con los dueños de los terrenos en los que se trabajó, este aspecto fue importante porque hay zonas que no permiten el paso libre y si se busca hacer nuevos estudios es recomendable consultar primero con el tutor de tesis para más información.

La superficie a trabajar es grande para cartografiarla a detalle en pocos días, por lo cual se hizo énfasis en recorrer la mayor cantidad de caminos de terracería posible, tanto para conocer mejor el área como para abarcar una mayor cantidad de afloramientos en los caminos y así a pesar de tener una cobertura parcial de toda la superficie considerada, poder establecer que se tiene una buena aproximación a la identificación de todas las facies de intrusivos que se manifiestan en el área de estudio.

Levantamientos geológicos fueron hechos en partes del cerro La Iguamala y del Cordón El Agua Caliente. La cartografía final se hizo complementado las rocas vistas directamente en campo con las que se pueden inferir a distancia y también en base a características destacables en imágenes de satélite, patrones topográficos y los trabajos previos.

### **4.2. Metodología de Gabinete.**

#### **4.2.1. Preparación de láminas delgadas.**

La mayoría de las láminas delgadas fueron preparadas en el taller de laminación del departamento de geología de la Universidad de Sonora, en el Centro de Geociencias (CGEO) se hizo parte del proceso para algunas láminas, incluyendo el adherido de los talones al porta objetos, cortado con disco de diamante para dejar sólo una porción del talón y la abrasión de esta porción con un disco de diamante especial que retiene la lámina en una superficie influenciada con presión por vacío de aire, la lámina se acerca al disco con una manija y la profundidad con que el disco de diamante corta la superficie de la lámina es controlada por una rosca, posteriormente se prosigue con abrasivos en polvo hasta obtener el espesor correcto.

#### **4.2.2. Preparación de muestras de geoquímica.**

Las muestras tomadas en campo son una porción representativa y homogénea del afloramiento, tomando las muestras más frescas posibles, principalmente evadiendo pequeñas vetas de calcita-epidota que a veces ocurren en las rocas de la zona. Para las muestras de textura pegmatítica se extrajo del afloramiento un núcleo de roca bastante grande y a partir del mismo se tomo una porción representativa.

El triturado de las rocas fue hecho en el laboratorio de triturado y molienda en la Estación Regional del Noroeste (ERNO) del Instituto de Geología de la UNAM, ahí se usa una quebradora de quijadas hecha de tungsteno que es un material que no genera contaminación significativa sobre la muestra. Las placas de la trituradora deben ser escrupulosamente limpiadas, lavadas con jabón y secadas con aire comprimido, el interior de la máquina debe limpiarse con aire comprimido y después pasar delicadamente un papel húmedo para remover polvo muy adherido y luego volver a usar el aire comprimido. Ya que la máquina y las placas estén secas se deben ensamblar cuidando que embonen perfectamente y que los tornillos estén bien apretados, se tritura parte de la muestra para pre contaminar y luego se tritura el resto de la muestra. Es importante guardar una muestra para analizar y un testigo.

El pulverizado fue hecho en el laboratorio de molienda y pulverizado del CGEO, utilizando una Shatter Box de alúmina, las muestras fueron previamente deshidratadas por dos días en un horno a 50°C, similarmente al proceso de triturado se debe tener un control de limpieza y pre contaminado estricto para cada muestra. Las muestras fueron pulverizadas hasta pasar la malla 200.

Las muestras fueron analizadas en el ICP-MS del CGEO siguiendo la metodología de Mori et al.(2009). Los datos de geoquímica se presentan en el apéndice 1.

#### 4.2.3. Separado de Circones.

El separado de circones se hizo con muestras trituradas a un grosor de malla 60, estas muestras fueron lavadas en un vaso de precipitado para separar el material fino, después fueron pasadas por el Frantz del laboratorio de separación de minerales del CGEO a diferentes amperajes para tener testigos de los minerales máficos, aunque la parte no magnética de la muestra fue la utilizada en el líquido pesado MEI para obtener los circones. El montado de probetas, imágenes de catodoluminiscencia y procesado de datos y de los diagramas de concordias fueron hechos por el Dr. Alexander Iriando y sus estudiantes, en cuanto a los circones, fueron analizados en el Laboratorio de Estudios Isotópicos para fechamientos de U-Pb por LA-ICPMS del CGEO.

#### 4.2.4. Software.

El Software ArcGis10 fue utilizado para el mapeo geológico y diseño de dibujos esquemáticos, en cuanto al procesado de datos geoquímicos se utilizó el Software Iqpet 2007.

## V. TRABAJO DE CAMPO.

### 5.1. Reconocimiento de unidades.

La unidad más importante para este estudio son las rocas ígneas del Cretácico Tardío-Terciario, aunque en el área de tesis hay rocas sedimentarias y metamórficas. Como se mencionó en la sección de trabajos previos dicha área no cuenta con estudios detallados, por lo que simplificar las unidades sería una buena idea para un mapa de gran escala, pero simplificar la geología del área de estudio tomando en cuenta que hay una gran variabilidad de intrusivos aportaría poco al objetivo de la tesis que es el reconocimiento de las facies intrusivas correspondientes a la unidad ígnea generalizada y ubicada temporalmente en el intervalo Cretácico Tardío-Terciario.

A continuación se presentan las características mineralógicas y texturales de las facies intrusivas (esta descripción será afinada en el capítulo de petrografía) y sus formas de emplazamiento. También se presenta una descripción de las rocas no intrusivas, las relaciones entre los cuerpos geológicos de la zona serán mencionadas después de esta introducción a sus características principales:

\*Rocas intrusivas (la nomenclatura es en base a Le Maitre., 2002).

Granito Tónichi: Se ha llamado así a un conjunto de rocas que pertenecen a un evento félsico particular. Son rocas predominantemente hololeucocráticas de texturas pegmatítica – aplítica, caracterizadas por la presencia de granate (gr). Las rocas tienen como minerales esenciales el cuarzo (qz), feldespato alcalino y plagioclasa (pg) sodica, los primeros dos son mucho más abundantes. Como minerales tipo están la muscovita (mus) y la biotita (bio). Se ha llamado granito Tónichi a la facies aunque cabe mencionar que hay algunas rocas de la misma que entran en el campo de los sienitoides. Esta facies se emplaza como diques, los cuales son muy abundantes. En algunos afloramientos el límite espacial de la facies no era visible, posiblemente son diques de varios metros de espesor.

Dioritoides Carricito: Genéricamente, son un conjunto de rocas caracterizadas por ser en la mayoría de los casos mesocráticas de grano medio a grueso, con alto contenido de pg y hornblenda (hb), cantidades moderadas de qz y con la característica presencia de esfena (esf), estas rocas pueden variar de diorita a cuarzo diorita. Esta facies también se caracteriza por tener mucha hb, desde 15% hasta un 90% en algunas rocas, la bio es un mineral muy poco común en rocas asociables a los dioritoides Carricito. Fue poco común encontrar el contacto geológico de esta facies, solamente se encontró un dique, aunque la extensión de algunos afloramientos sugiere que es posible la existencia de pequeños stocks.

Granitoides: Básicamente, son todos los granitoides que no pertenecen al granito Tónichi, es importante mencionar que este grupo no corresponde a un conjunto de intrusivos que en base a sus características puede asociarse a un mismo evento como en el caso de los dos

anteriores donde las características sugieren subfacies de un mismo magmatismo, este grupo tiene por lo menos dos intrusivos que tentativamente pueden separarse en el sentido de eventos magmáticos, de hecho, este grupo es propuesto por que corresponde a un conjunto de rocas que pueden mapearse más fácilmente y tiene una mayor extensión geográfica. Esta facies está conformada por granodioritas y granitos con bio y hb como los minerales tipo mas importantes, considero esta facies como equivalente a los intrusivos laramídicos terciarios y su emplazamiento corresponde a intrusivos de escala regional.

Facies de diques intermedios de grano fino: Estas rocas son una de dos facies de dioritoides, las principales diferencias con los dioritoides Carricito es que estos diques intermedios tienen menos qz y poseen una textura de grano fino a muy fino, como lo destaca el nombre propuesto. Esta unidad fue descrita con muy poco detalle, no hay geoquímica ni geocronología y se tiene muy poca petrografía, no se enfatiza en ella en el mapa geológico, pero cabe mencionar que el punto donde aflora en mayor cantidad es al norte del cerro El Soberbio. En el capítulo de petrografía se resaltan mas diferencias con los dioritoides Carricito y en la sección de relaciones de campo en este mismo capítulo se menciona otra diferencia importante entre ambas facies.

\*Rocas no intrusivas.

Rocas Metasedimentarias: Se engloba aquí a las rocas sedimentarias de la zona, que son tentativamente paleozoicas (ver Barrera y Domínguez, 1987). En base a lo mencionado por estos autores, las rocas al este de la zona de estudio son descritas como sedimentarias, y en las referencias citadas en el apartado de trabajos previos toda la zona central del área de estudio es considerada intrusivos, sin embargo, se encontraron rocas completamente metamórficas y también se han visto algunas que pueden considerarse metasedimentarias, por lo que al parecer hay un conjunto de rocas sedimentarias que varían de poco grado de metamorfismo hasta rocas metamórficas (por metamorfismo de contacto, destaca la textura granofélsica en estas rocas) en el sentido estricto. Por motivos prácticos he dibujado en el mapa una unidad generalizada llamada rocas metasedimentarias, que abarca el espectro de las rocas totalmente metamorfoseadas hasta las que presentan sólo un grado mínimo de recristalización.

Detríticas terciarias: Rocas de la Formación Baúcarit, son un conjunto de conglomerados y areniscas que se pueden encontrar aflorando desde el puente del río Yaqui hasta las faldas del cerro El Soberbio.

## **5.2. Relaciones de campo y mapa geológico.**

Es importante mencionar que las rocas metasedimentarias observadas directamente en campo abarcaron principalmente rocas completamente metamorfoseadas o con grado de recristalización considerable, no se han encontrado fósiles u otra característica que permita asignarle una ubicación temporal precisa por lo que se consideran paleozoicas meramente

por la cercanía geográfica con las rocas reportadas por Barrera y Domínguez (1987), las cuales son descritas como lutitas, por lo que infiero que están en la zona donde el metamorfismo es inexistente o muy leve. La foliación primaria en las rocas altamente metamorfoseadas es difícil de ver, por lo que no se tienen actitudes medidas.

Habiendo mencionado esta última consideración, se presenta a continuación las características de emplazamiento de cada una de las facies intrusivas en relación con las otras facies y con las rocas no intrusivas.

Dioritoides Carricito: Esta unidad fue encontrada emplazada como diques que cortan a las rocas metasedimentarias, aunque cabe mencionar que fue muy poco común encontrar la relación de emplazamiento de esta facies porque rara vez fue vista bien expuesta.

Granitoides: El contacto de los granitoides con las rocas metasedimentarias no fue visto directamente, sin embargo en muchos lugares hay cerros compuestos a la base por la facies de granitoides y a la cima están las rocas metasedimentarias, de hecho donde se observa esta relación espacial las rocas metasedimentarias son propiamente cuarcitas y metagrauvacas y conforme se aleja de las zonas donde está presente en gran proporción la facies de granitoides se encuentran rocas con grados de metamorfismo leve, con base a estas consideraciones considero a las rocas metasedimentarias como techos colgantes de los granitoides los cuales junto con los dioritoides Carricito han sido los causantes del metamorfismo de las rocas sedimentarias de la zona. La relación entre los granitoides y los dioritoides Carricito no fue encontrada en campo, sin embargo puedo establecer que los granitoides intrusionan a los dioritoides Carricito, pero este postulado será defendido en los capítulos de petrografía y geocronología. Hay un contacto entre esta facies y las rocas asociadas a la Formación Baúcarit, basándonos en las edades típicas de esta formación y la de los intrusivos laramídicos el contacto probablemente es por falla o deposicional (horizontal).

Granito Tónichi: Los diques del granito Tónichi cortan a las rocas metasedimentarias, a los dioritoides Carricito y también a la facies de granitoides.

Diques intermedios de grano fino: Estos diques cortan a todos los intrusivos mencionados anteriormente, cuando se trate el tema de geocronología resaltará que la relación de emplazamiento de esta facies la separa temporalmente de los dioritoides Carricito por muchos millones de años.

El mapa geológico de la zona se presenta en la figura 5.1, antes de visualizarlo destacaré los siguientes puntos.

\*La facies de granitoides está representada principalmente por dos tipos de roca de las cuales se tiene petrografía y geoquímica, son las muestras Sob12-38 y Sob12-06, la muestra Sob12-38 es granodiorítica, muy parecida a las típicas del batolito Laramide, esta roca

aflora en las cercanías del cerro El Soberbio. En las zonas trabajadas más al norte, fue muy común encontrar a las faldas de los cerros rocas granodioríticas-graníticas, de éstas no se tiene petrografía y cabe mencionar que suelen estar muy alteradas, no considero que las descripciones de estas rocas sean suficientes para asociarlas directamente con la muestra Sob12-38, pero es factible que así sea, en cuyo caso, rocas atribuibles al batolito Laramide ocuparían una gran extensión del área de estudio.

\*La muestra Sob12-06 es un granito de grano grueso el cual sólo aflora cerca del cerro el Soberbio. De entre las rocas asociadas a la facies de granitoides esta destaca por su tamaño de grano y por ser más rica en feldespatos alcalinos, junto con la Sob12-38 son las dos muestras que con base a su mineralogía y geoquímica (ver capítulos de petrografía y geoquímica) se pueden asociar claramente a los intrusivos laramídicos terciarios como los descritos por Roldán-Quintana et al. (2009). En el mapa geológico (figura 5-1) se marca una zona llamada “transición entre facies de granitoides”, en este lugar está una roca asociable a la muestra Sob12-06 y otra a la Sob12-38, lamentablemente sólo se estuvo aquí en el camino de terracería y el contacto no se ve directamente, pero cabe mencionar que la roca asociable a Sob12-38 está alterada en esta zona, fácil de desmoronar y con los FeMg muy oxidados, pudiera ser que Sob12-06 intruye a Sob12-38, aunque se tiene que establecer como un contacto geológico que está pendiente de comprobar. Son rocas diferentes pero ambas pertenecientes al magmatismo Laramide, esto último es lo verdaderamente relevante, por lo cual ha sido importante aclarar sus características en campo y tanto las diferencias mineralógicas como sus características geoquímicas que permiten asociarlas al magmatismo Laramide serán descritas en los capítulos de petrografía y geoquímica.

\*En el mapa geológico tanto los dioritoides Carricito como el granito Tónichi son marcados como puntos de referencia de afloramiento, prefiero hacerlo así ya que de los diques vistos pocos sobresalían del afloramiento por lo cual no fue posible tomar muchos datos de actitud, por eso mapearlos en forma de líneas pudiera sugerir patrones direccionales que no están representados por datos reales.

\*El Granito Tónichi inferido son lugares en donde no se hizo trabajo de campo directo pero se infiere su presencia dado que se tienen puntos donde sí se vio separado entre áreas no trabajadas directamente, se infiere que muy posiblemente se puedan encontrar afloramientos del Granito Tónichi en esas zonas.

\*El punto de muestreo de geocronología U/Pb que está al norte es para la muestra Sob12-25 (dioritoides Carricito) y el punto al sur es para la muestra Sob12-38 (granitoides).

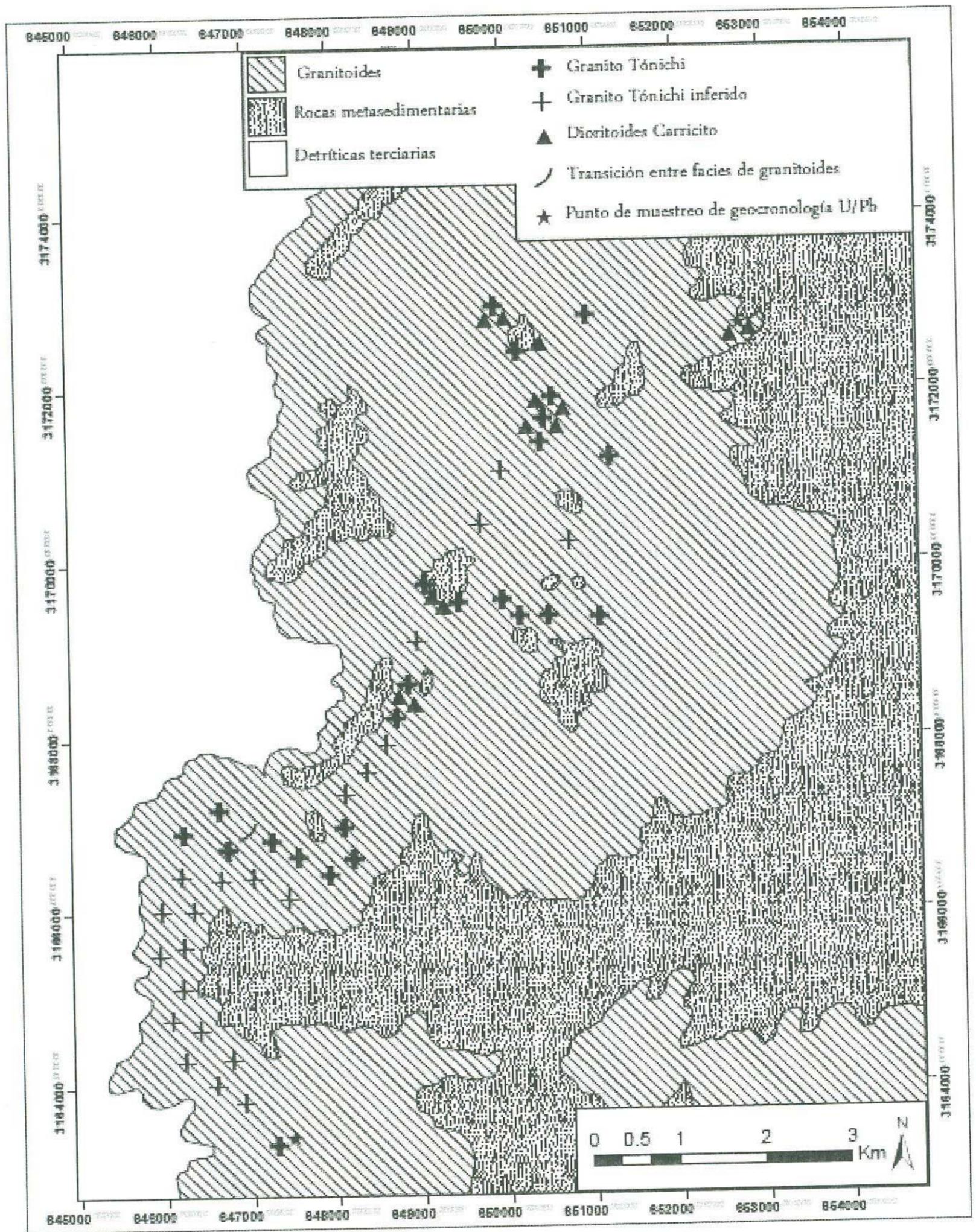


Figura 5.1. Mapa geológico del área de estudio.

La figura 5.2 muestra el contacto entre la facies de los dioritoides Carricito que cortan a las rocas metasedimentarias, el granito Tónichi aparece cortando a las dos rocas anteriores. La figura 5.3 es una de muchas zonas donde el granito Tónichi corta a los dioritoides Carricito.

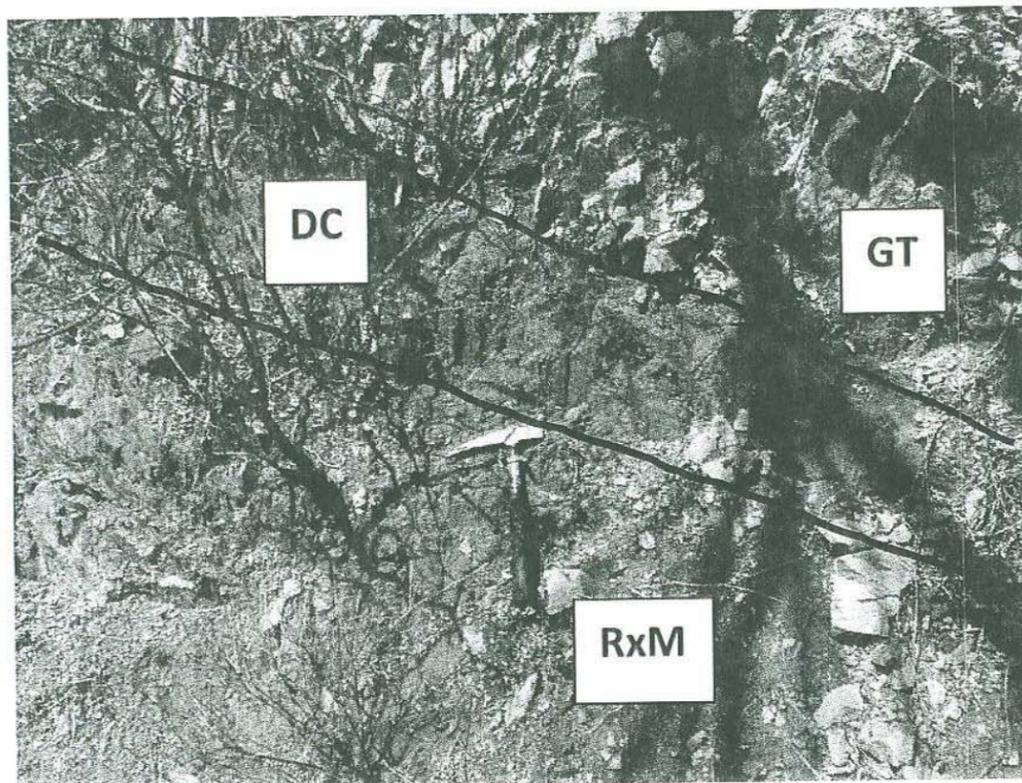


Figura 5.2. Rocas metasedimentarias (RxM) cortadas por un dique de los dioritoides Carricito (DC) y ambos cortados por un dique del granito Tónichi (GT).

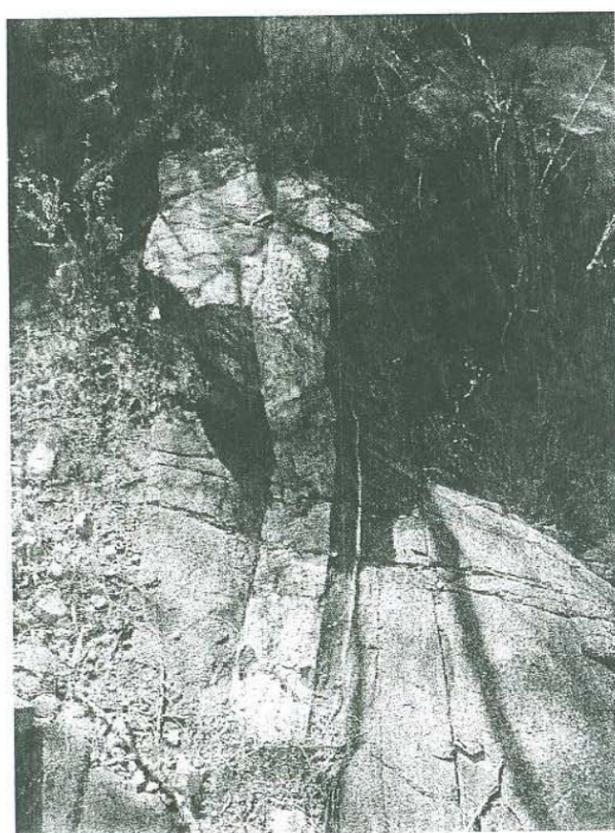


Figura 5-2. Granito Tónichi (dique blanco) cortando a los Dioritoides Carricito (roca más oscura).

El granito Tónichi muestra un zoneamiento interno interesante, la figura 5-4 muestra las características que tiene esta facies:

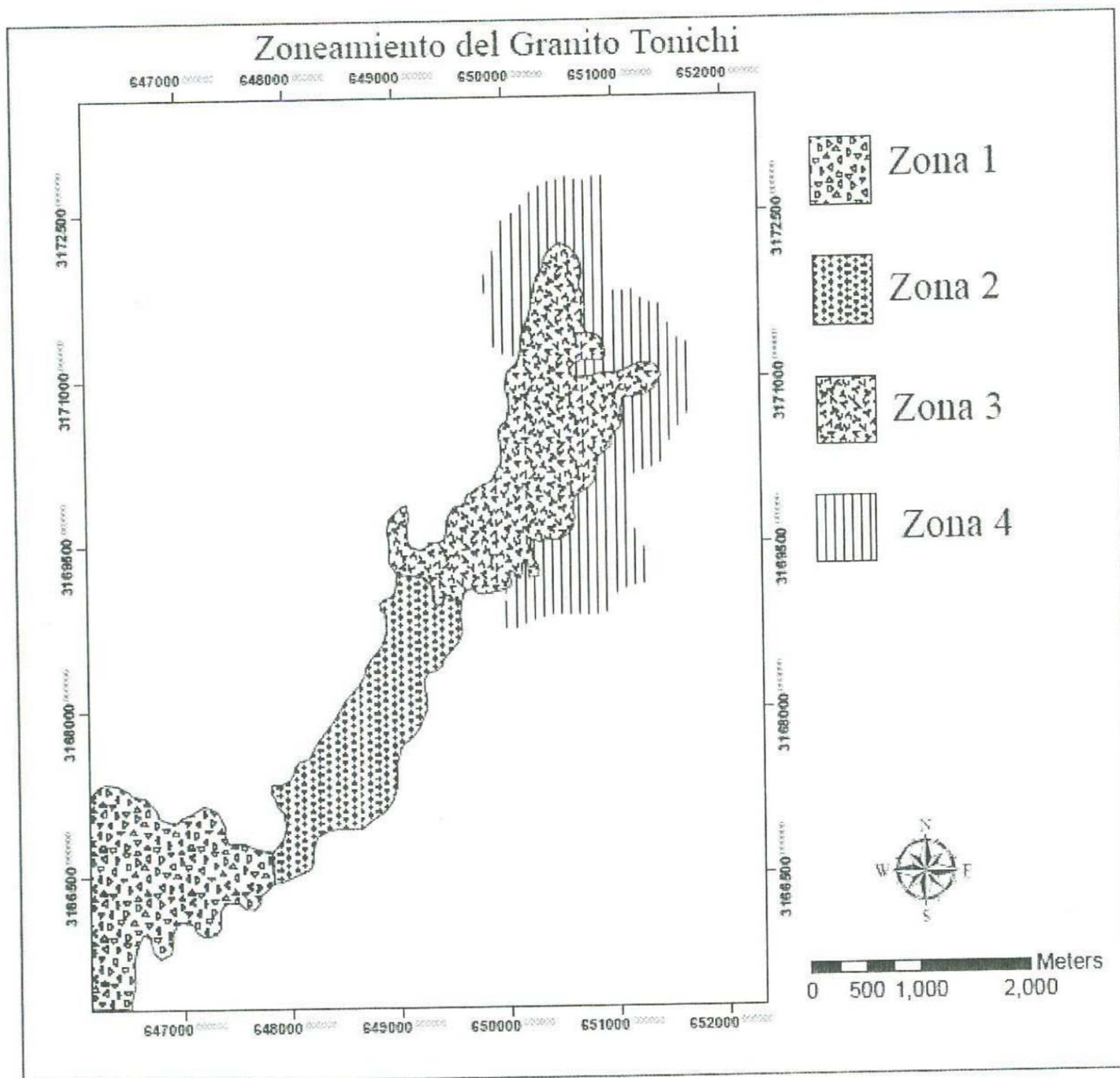


Figura 5-4. Zoneamiento del Granito Tónichi:

Zona 1: Zona de pegmatitas, varían entre granitoides ricos en feldespato alcalino a sienitoides de qz, ambos con gr que en algunos casos supera el 5% de roca total, en esta zona las pegmatitas son más comunes que las aplitas.

Zona 2: Zona de aplitas, algunas con contenidos gr que llegan a un 10% de roca total. Las pegmatitas también son comunes en esta zona pero las aplitas están en mayor proporción que en la zona 1.

Zona 3: Esta zona también es de pegmatitas y aplitas, pero se distingue porque hay determinados puntos en los que se pueden encontrar rocas con cristales de mus de hasta 10

cm y también una roca muy característica que son grandes cristales de feldespato alcalino (5-22cm) los cuales tienen textura gráfica y están siendo bordeados por una matriz de feldespato (posiblemente pg albítica, a algunas se le veían las maclas), qz y bio, esta masa es de grano grueso (.5-2cm). Se interpreta que los magmas de esta zona tenían un alto contenido de fluidos magmáticos los cuales ocasionaron difusión de los elementos químicos presentes en el magma, generando altas tasas de crecimiento de cristalino.

Zona 4: Esta es la zona donde el granito Tónichi empieza a segregarse como aplitas, principalmente en diques pequeños y el gr empieza a desaparecer, esta zona demarca los lugares donde la facies granito Tónichi empieza a desaparecer. Cualquier punto marcado en el mapa de la figura 5-1 que esté en la zona 4 representa una roca donde el gr no ocurre. La zona 4 no está completamente delimitada, y es que los límites hechos en este mapa aproximadamente enmarcan las zonas donde se hizo trabajo de campo directo, esto es importante porque muy probablemente ni la extensión propuesta del granito Tónichi y de los dioritoides Carricito abarcaría la extensión total de estos eventos magmáticos.

La figura 5-5 muestra las relaciones entre las rocas del área de estudio.

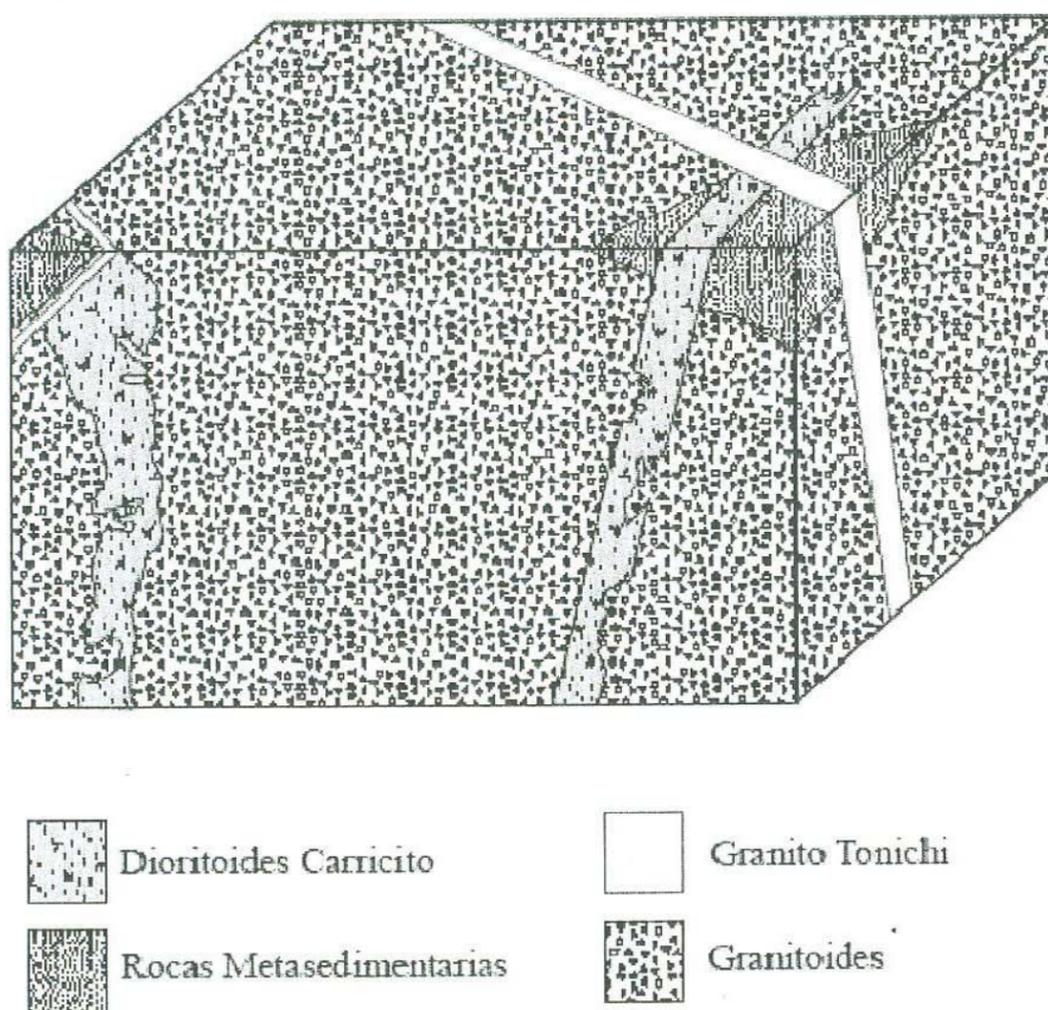


Figura 5-5. Relaciones entre las facies de intrusivos. Los bordes corroídos de los dioritoides Carricito hacen alusión a que están siendo afectados por los granitoides.

## VI. PETROGRAFIA.

La clasificación de las rocas fue hecha siguiendo el trabajo de Le Maitre (2002). En cuanto a la organización de este capítulo, se presentan las facies intrusivas descritas en el capítulo de campo, mostrando la descripción completa de muestras representativas y complementando con la descripción resumida de otras muestras de la facies y enfatizando otros aspectos relevantes.

Las determinaciones modales fueron hechas por estimaciones visuales de varios campos representativos de la lámina. Las rocas, en general, son homogéneas pero para rocas pegmatíticas se hicieron láminas más grandes que las convencionales para evitar lo menos posible que exista un sesgo causado por los minerales grandes.

### 6.1 Granito Tónichi.

Sob12-05: Los minerales esenciales de esta roca son el qz, microclina (mc) y pg, como mineral tipo esta la mus, aunque en luz natural las mus está muy oxidada en los bordes y en los planos de clivaje, esto puede ser efecto de los fluidos meteóricos o hidrotermales que se infiltraron en la roca y contenían óxidos de fierro, o bien la mus realmente puede ser fengita que contiene fierro y magnesio en su fórmula, por estas consideraciones el mineral ahora será denominado como mica blanca. La roca consiste en cristales de grano muy grueso tanto de mc (5mm-3cm) como de qz (3-5mm). La mc se presenta en cristales subhedrales que comúnmente chocan sus caras unos con otros, generando un contacto muy recto, en cuanto a la pg destaca que solo se presenta en cristales relativamente pequeños de 1.5-3mm, el gr aparece como mineral accesorio. Comúnmente la mc engloba poikilíticamente al gr, qz y pg, estas últimas aparecen como cristales euhedrales. Las proporciones modales de roca total son: qz-30; pg-6; mc-60; otros-4 (gr y mica blanca, la mica blanca aparece en mayores proporciones en partes del afloramiento de donde se tomó la muestra), la roca clasifica como un granito de feldespato alcalino aunque está muy cerca del límite con sienogranito. El nombre de la roca es granito de feldespato alcalino pegmatítico de mus con gr como mineral accesorio.

Sob12-32: Los minerales esenciales son qz, mc y pg, la roca tiene mica blanca como mineral tipo y gr + circón (cir) como minerales accesorio. Destaca la textura seriada variando el tamaño de grano de .5, 1, 2 y 3 mm, por lo que la roca en parte es aplítica. La zona de grano más grueso es donde se concentra la mc. En esta roca la parte aplítica clasifica como granodiorita y donde el grano es más grueso pasa a sienogranito, en sumatoria la roca esta entra al campo de monzogranito, simplifiqué el nombre a leucogranito de mus con gr y cir como minerales accesorios.

Resumiendo en base a otras láminas descritas, esta facies se caracteriza por rocas con texturas pegmatítica y aplítica principalmente, aunque la textura seriada también es común. Los campos composicionales varían de granito de feldespato alcalino-granitos-

granodioritas y en casos poco comunes las granodioritas son muy ricas en pg acercándose mucho al campo de las tonalitas, también hay rocas que entran al campo de las cuarzo sienitas de feldespato alcalino y cuarzo sienitas, el índice de M de estas rocas (ver LeMaitre., 2002) suele estar entre 0-10. En algunas aplitas es común ver al cir como mineral accesorio, en las pegmatitas es menos común. Una textura común en las pegmatitas es la pertítica. Para esta facies no se han encontrado muchas pg de las cuales se puedan hacer medidas de composición, se tienen muy pocas por cada lámina pero basándonos en los valores promedio el estimado composicional está entre  $An_{17}-An_{30}$ .

La figura 6.1 muestra el aspecto oxidado de la mica blanca en una pegmatita. La figura 6.2 muestra una aplita, en la descripción de esta roca hay evidencia de un zoneamiento modal y textural, atribuido a fluidos. En la figura se hace énfasis en una aglomeración abundante de granates, estos y los circones son muy abundantes en esta aplita.



Figura 6.1. Mica blanca con bordes oxidados, foto tomada en luz natural.

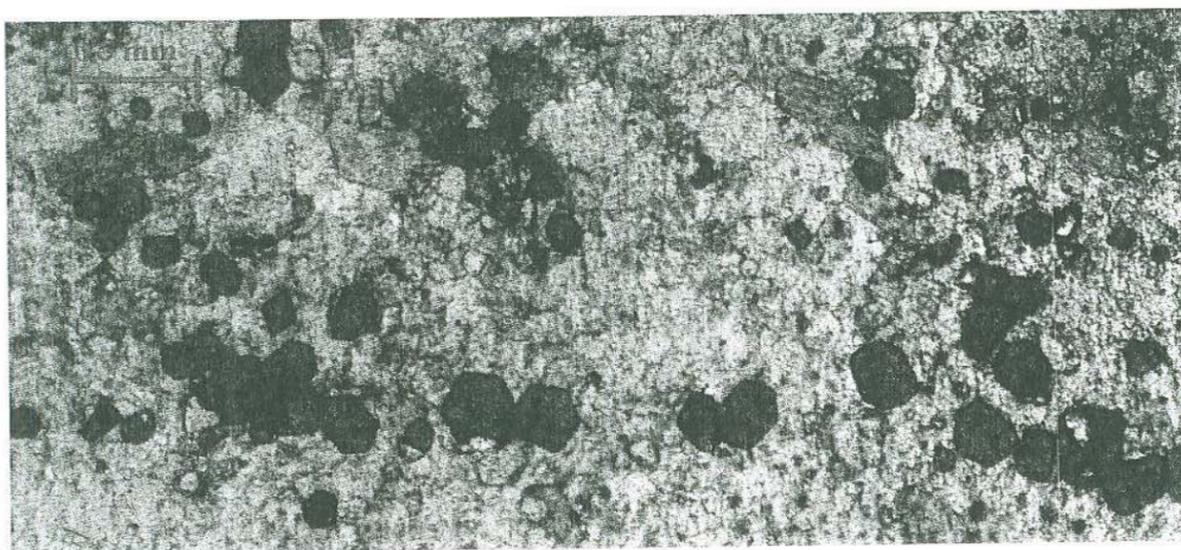


Figura 6.2. Alineamiento de granates (minerales hexagonales de alto relieve) en una aplita, en la parte superior derecha también hay cir (mineral pequeño y de alto relieve). La foto esta en luz natural.

## 6.2 Granitoides.

Sob12-38: Los minerales esenciales son qz, pg y mc, como minerales tipo esta la bio y la hb, los minerales accesorio son cir, apatito (ap), opacos y esf. La alteración es leve pero hay presencia de arcilla, oxidación, epidota (epi) y clorita (clo). La roca tiene una textura ligeramente porfídica, la matriz es un arreglo de qz anhedral de 1-4mm y pg subhedrales-euhedrales de 1-3mm, también hay mucha bio oxidada de 1-2mm. Los fenocristales son mayormente mc y en menor medida hb, la mc suele ser de 5mm-9mm y engloba cristales de qz, bio y pg. Las proporciones de roca total son: qz-23; pg-41; mc-24; otros-12. La roca entra en el campo de un monzogranito pero muy cerca del campo de la granodiorita (nombre propuesto para la roca en muestra de mano), para motivos cualitativos puede considerarse como una transición entre granodiorita y monzogranito. El nombre estricto sería monzogranito de hb y bio con cir, ap, opacos y esf como minerales accesorio.

Sob12-06: Los minerales esenciales son qz, mc y pg, como mineral tipo esta la bio, el cir y ap son los minerales accesorios, la alteración es leve, presentándose como arcilla en feldspatos y oxidación + cloritización en la bio. La roca es de grano grueso y con textura ligeramente porfídica, la mc se presenta en cristales subhedrales de 3-8mm, la pg es mayormente subhedral y varía entre 2-3mm, el qz es anhedral y de entre 3-4mm. La pg y el qz suelen estar encerrados poikiliticamente en la mc, la pg también suele estar encerrada poikiliticamente en el qz. Las proporciones modales de roca total son: qz-34; pg-20; mc-40; otros-6. La roca clasifica como un sienogranito de bio con cir y ap como minerales accesorios, cabe mencionar que está muy cerca del campo de un monzogranito.

## 6.3 Dioritoides Carricito.

Sob12-25: Los minerales esenciales son la pg y el qz, como mineral tipo esta la hb, la esf, cir y opacos son los minerales accesorio. La roca tiene alteración sericítica abundante y también hay epi y clo como minerales secundarios. La roca es mayormente equigranular, muy ligeramente varia a porfídica, se caracteriza por hb aciculares de alrededor de 4mm que son poco comunes, la mayor parte de la roca son hb y pg de 1.5-2.5mm con ocasionales cristales aun más pequeños de qz, pg y hb. La pg y la hb son mayormente subhedrales, ocasionalmente se ven hb euhedrales. Dentro de la pg hay agregados masivos de alto relieve, incoloros a amarillentos y con color de interferencia que varía de azul (lo más común) a amarillo, estos han sido interpretados como epi. La esf suele estar muy oscurecida en luz natural y en luz polarizada muestra colores de interferencia anómalos (birrefringencias mal definidas, pero en el rango de coloraciones de segundo o tercer orden), posiblemente la esf esté oxidada, los minerales opacos también están oxidados. La hb en esta roca se ve muy blanquecina en luz polarizada, posiblemente es algo de decoloración por la alteración o quizás es anfíbol pobre en hierro. Las proporciones modales de roca total son: qz-4; pg-71; otros 25 (de este 25 un 90-95% es hb). La roca clasifica como una cuarzo diorita de hb con cir, esf y opacos como minerales accesorios.

Sob12-23a: Los minerales esenciales son qz y pg, el mineral tipo es hb y como minerales accesorio están la esf y opacos, la alteración de la roca es la misma descrita en sob12-25, sólo que la alteración a epi de la pg es mayor en la muestra sob12-23a. La roca es porfídica, la matriz es de grano medio a grueso (2-3mm) y consiste en pg y hb, aunque también hay cristales de qz, pg y hb de menos de 1mm, los fenocristales son hb euhedrales-subhedrales de 4-5mm. La hb también es comúnmente encontrada poikilíticamente encerrada en cristales de pg y qz, esto combinado con los fenocristales sugiere que la hb fue el primer mineral en cristalizar, primero pudo crecer mucho y conforme comenzaron a cristalizar el qz y la pg los nuevos núcleos de hb quedaron encerrados, la figura 6.3 muestra las características previamente descritas. Las proporciones de roca total son: qz-7; pg-55; otros-38 (de este 38 un 95% es hb). La roca es una cuarzo diorita de hb con esf y opacos como minerales accesorios.

Sob12-23: Los minerales esenciales son pg y qz, hb como mineral tipo y opacos, esf y ap como minerales accesorio, la alteración de esta roca es sericítica y clorítica. La textura es relativamente equigranular con hb y pg de .5-2 mm, solo hay pocos cristales de pg que llegan hasta 4mm. Las pg son subhedrales y comúnmente muestran textura zoneada. El qz es anhedral comúnmente encontrado relleno dentro de los entramados de pg, las proporciones modales de roca total son: qz-5; pg-77; otros-18 (95 % son hb). La roca es una leuco-cuarzo diorita de hb con ap, esf y opacos como minerales accesorio.

Estas tres rocas definen en general lo que son los dioritoides Carricito, las características de las rocas descritas son muy parecidas a otras láminas vistas, aunque que se necesitan más estudios para definirlos a detalle, porque hay unas rocas con bio que al parecer pertenecen a esta facies pero no se alcanzaron a estudiar con detalle, a su vez como se mencionó en el capítulo de campo también hay subfacies que tienen de 60-90% de hb e incluso en otras láminas se encontró feldespato alcalino pero en proporciones muy bajas que no mueven a estas rocas del campo de las cuarzo dioritas. Los minerales accesorios varían en las 3 rocas descritas, aunque pienso que es debido a que algunos son más evidentes en unas rocas y menos comunes en otras, quizás haciendo más detalle se vea que en diferentes medidas todos aparecen en la facies. No se encontraron muchas pg con buenas características para medir su rango composicional, pero las medidas hechas permiten hacer el estimado composicional de An<sub>40</sub>-An<sub>45</sub> para esta facies. En resumen los dioritoides Carricito son un evento predominantemente cuarzo diorítico con alto contenido de hb (en general en un 30%, aunque hay subfacies con un poco menos y subfacies con mucho más) y con esf, cir, ap y opacos como minerales accesorio, la textura generalmente es porfídica, siendo la hb el fenocristal más común. La alteración de esta facies posiblemente es efecto de la intrusión de la facies de granitoides.

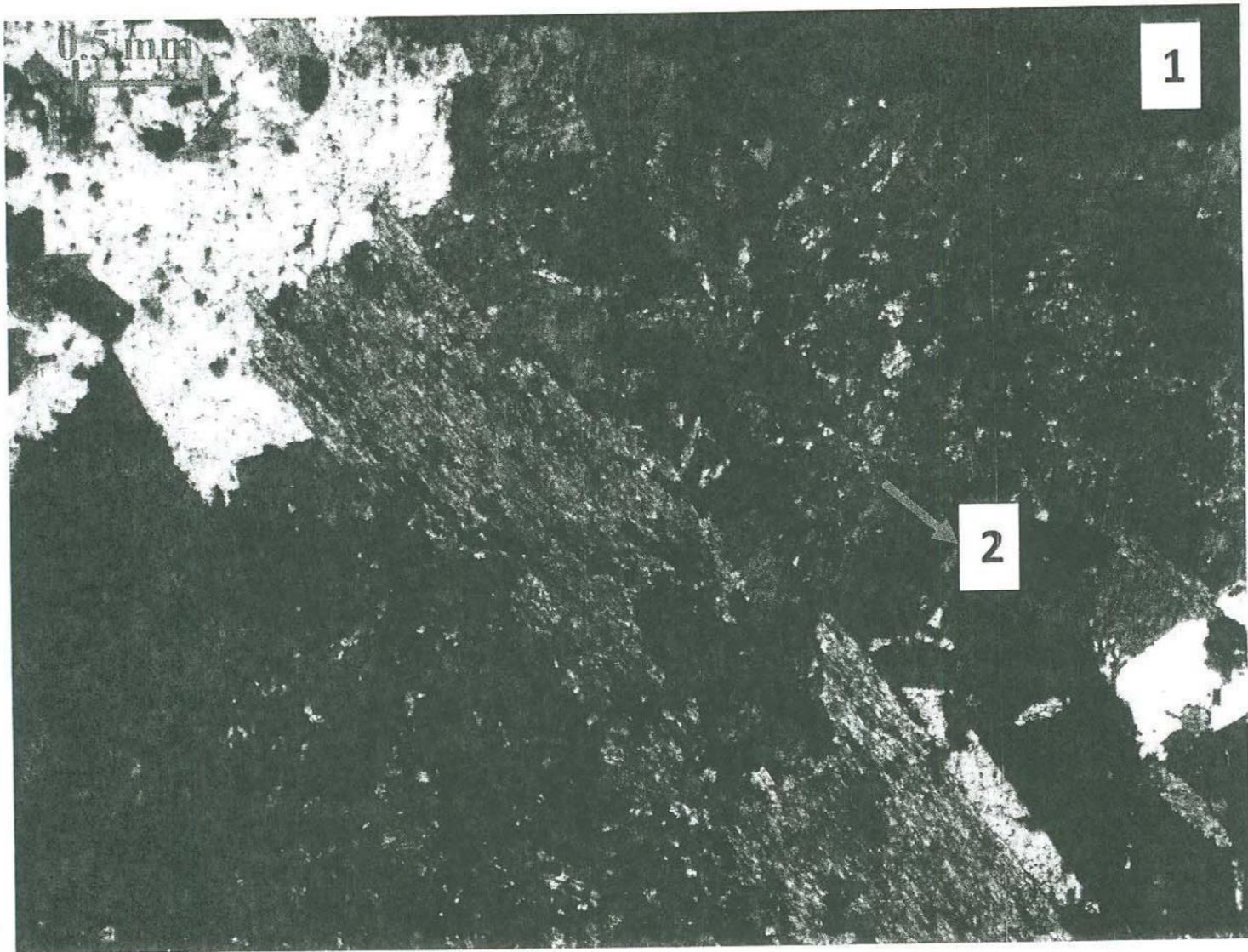


Figura 6.3. Fenocristales de hb (1) y pequeños cristales de hb (2) encerrados dentro de una pg.

#### 6.4 Diques intermedios de grano fino.

Sobre estas rocas sólo quiero enfatizar sus diferencias petrográficas con los dioritoides Carricito:

- 1- Esta facies es de grano muy fino.
- 2- Carecen de qz, el cual es relativamente común en los dioritoides Carricito.
- 3- La hb en esta facies suele tener una alteración hidrotermal particular que ocasiona que en luz natural dicho mineral se vea muy amarillento.
- 4- Ausencia de esf.

En resumen esta facies son diques dioríticos de grano fino, tienen como mineral tipo a la hb y como accesorios minerales opacos.

## VII. GEOQUIMICA Y GEOCROLOGÍA.

### 7.1 Geocronología.

Con el método de U-Pb Se analizaron circones para las muestras Sob12-38 y Sob12-25. Como se menciona antes el procesado de datos no fue hecho en este trabajo, por lo que simplemente se procederá a presentar los resultados (los datos completos están en el apéndice 2):

Sob12-38 (facies: granitoides, 19 circones analizados). Edad isotópica de  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = 56.01 \pm 0.75 \text{ Ma}$ .

Sob12-25 (facies: dioritoides Carricito, 16 circones analizados). Edad isotópica de  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = 97.85 \pm 0.97 \text{ Ma}$ .

La muestra Sob12-25 es la roca plutónica más antigua reportada en Sonora central y la muestra Sob12-38 está en el rango de las rocas laramidicas de la misma zona, estas edades son otro argumento para establecer que la facies de granitoides se emplazo sobre los dioritoides Carricito. Los diagramas de concordias se muestran en la figura 7.1.

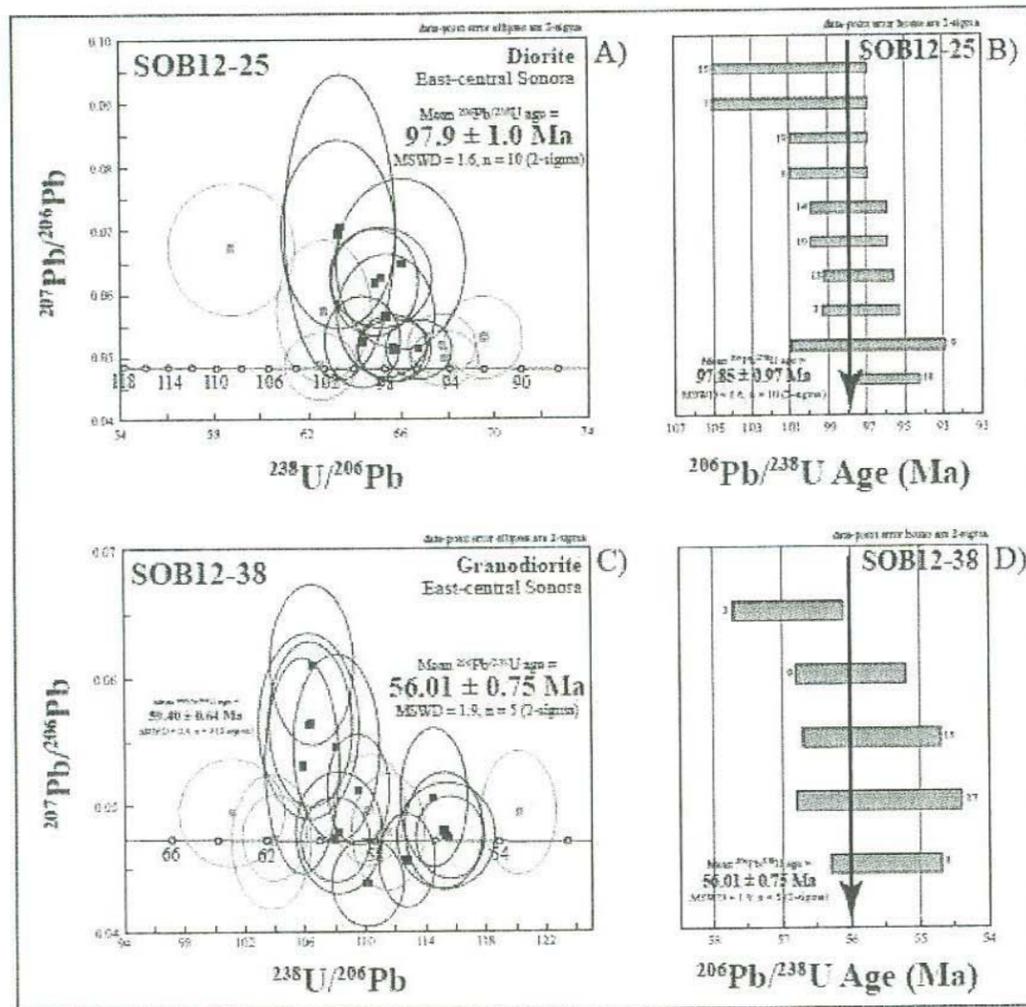


Figura 7.1. Diagramas de concordias para Sob12-38 y Sob12-25.

## 7.1 Geoquímica: Granito Tónichi.

Para esta facies se analizaron 2 muestras, la Sob12-05 y la Sob12-32, ambas descritas en el capítulo de petrografía. Se graficaron dos diagramas, el “spider” de elementos traza y el diagrama de tierras raras, ambos se muestran en la figura 7.2.

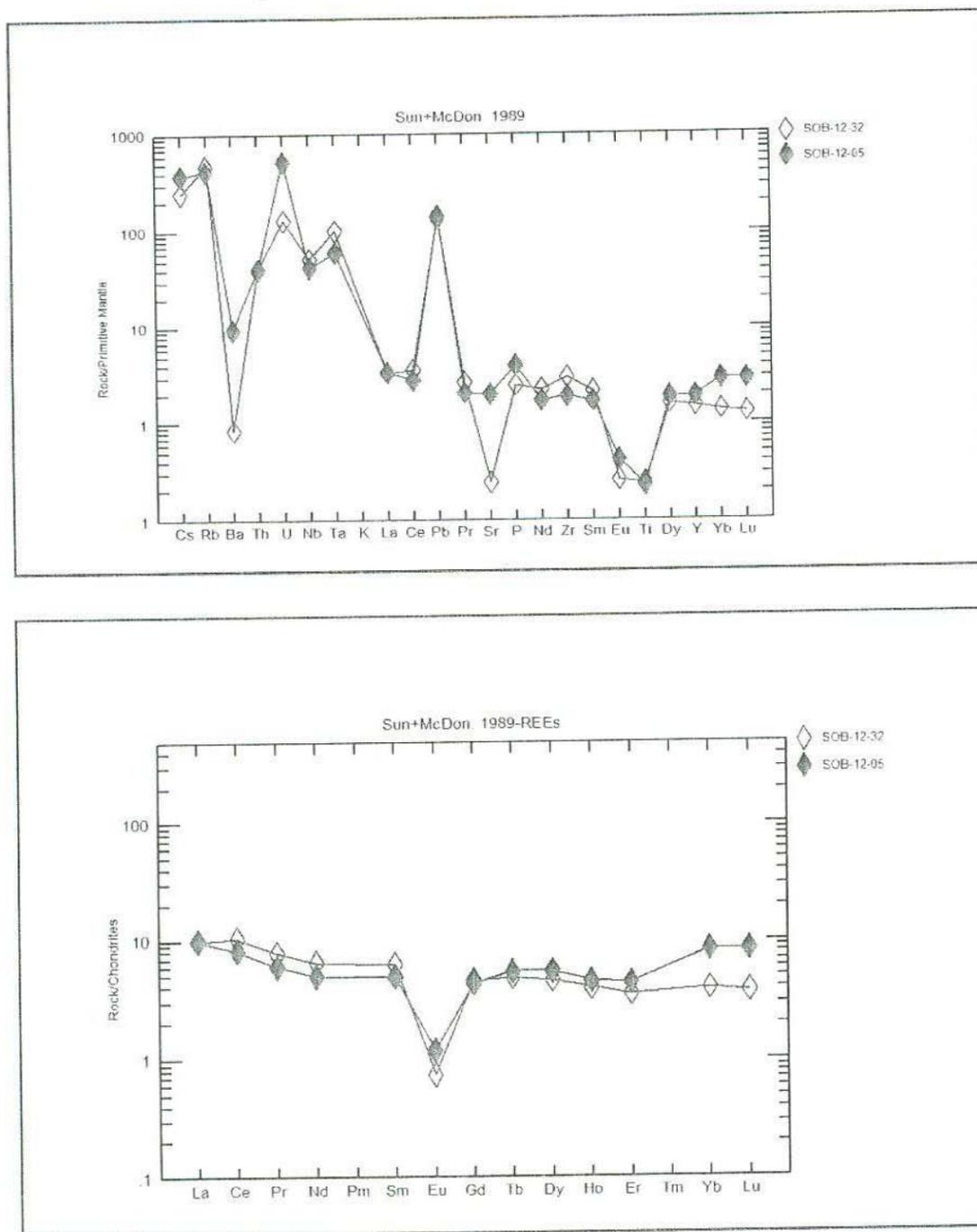


Figura 7.2. Diagramas geoquímicos para la facies granito Tónichi (valores de normalización de Sun y McDonough, 1989).

Ambas rocas están muy enriquecidas en elementos LILE, puede esperarse eso en rocas muy diferenciadas, también hay anomalías negativas en Eu, Ti, Sr y Ba (a excepción del alto en Sr de Sob12-05), puede esperarse ese patrón ya que dichos elementos suelen estar en mayor proporción en minerales de rocas menos diferenciadas. El diagrama de tierras raras es muy constante en casi todos los valores a excepción del Eu.

## 7.2 Geoquímica: Granitoides.

Para esta facies se analizaron las muestras Sob12-38 y la Sob12-06, ambas descritas en el capítulo de petrografía. Se graficaron los mismos diagramas presentados para el granito Tónichi y se muestran en la figura 7.3.

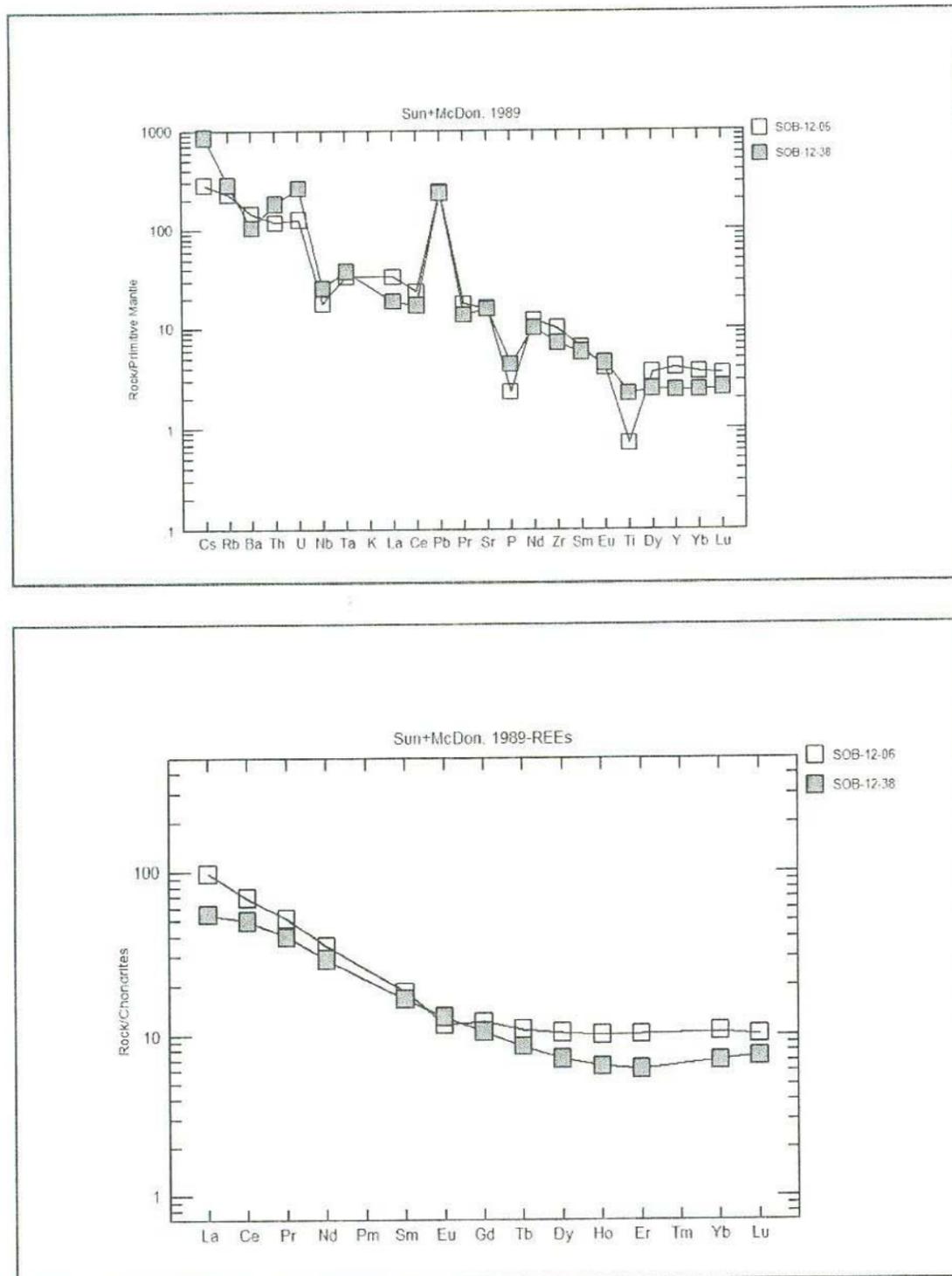


Figura 7.3. Diagramas geoquímicos para la facies granitoides (valores de normalización de Sun y McDonough, 1989).

El diagrama "spider" muestra la típica anomalía en Nb-Ta de los magmas relacionados a la subducción (Best, 2003) y también una anomalía positiva en Pb que posiblemente es efecto de la contaminación con la corteza. El diagrama de tierras raras desciende en forma cruzada hasta el Eu-Dy, a partir de estos elementos toma un patrón mucho más recto.

### 7.3 Geoquímica: Dioritoides Carricito.

Para esta facies se analizaron las muestras Sob12-25 y la Sob12-23a, ambas descritas en el capítulo de petrografía. Se graficaron los mismos diagramas que presentados para las dos facies anteriores y están representados en la figura 7.4.

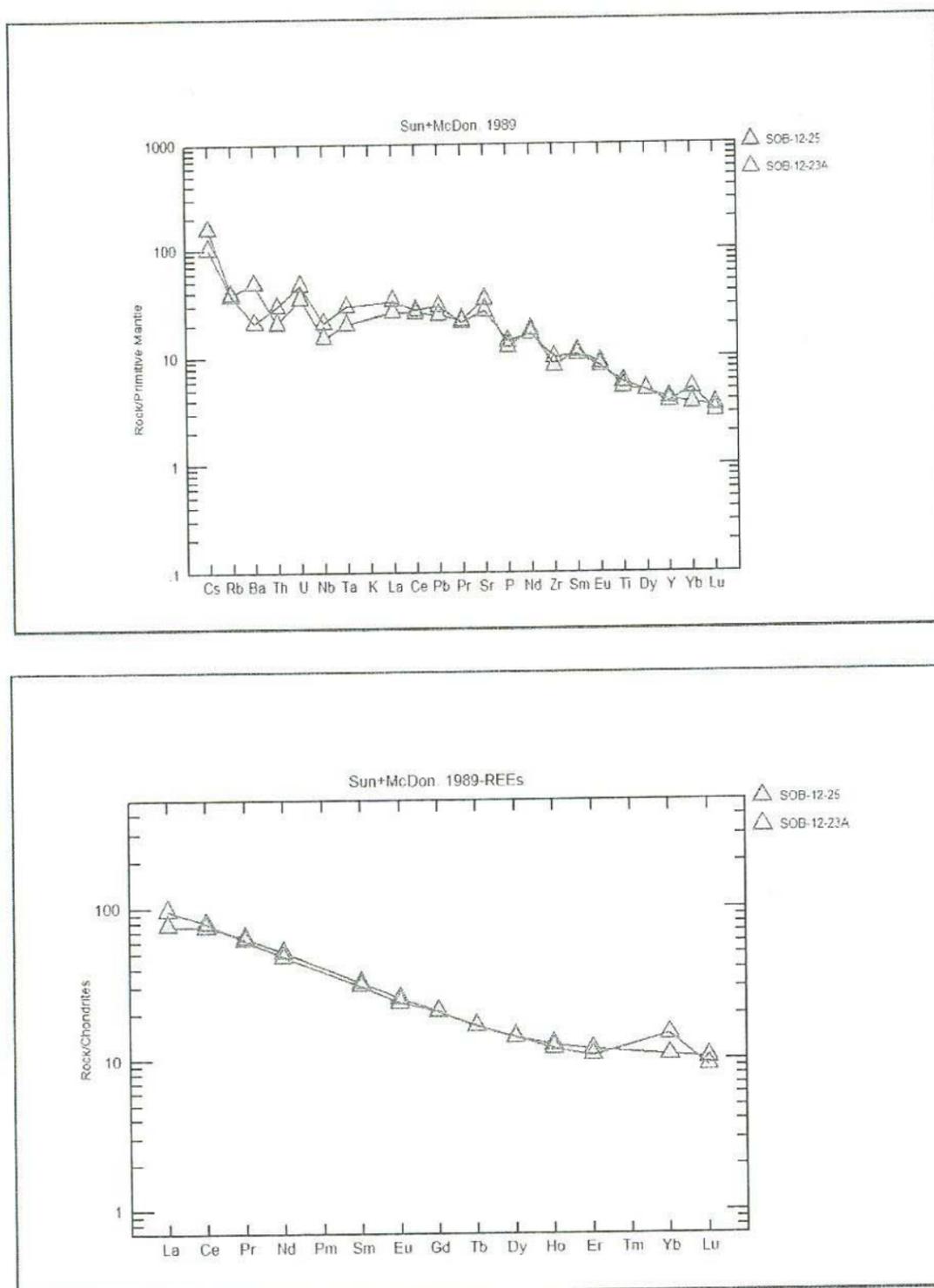


Figura 7.4. Diagramas geoquímicos para la facies dioritoides Carricito (valores de normalización de Sun y McDonough, 1989).

Los dos puntos principales a destacar son una ligera tendencia hacia la anomalía Nb-Ta típica de magmas de subducción y también un patrón de tierras raras que en general es constante en ambas muestras y destaca por la ausencia en anomalía de Eu.

## 7.5 Análisis y comparación con otros trabajos.

El granito Tónichi es muy rico en elementos LILE, el Pb y U que son elementos de radio iónico grande tienen valores altos, esto es normal en rocas tan diferenciadas. Destacan los valores bajos en Ba, Eu y Sr asociables a una roca con mucho feldespato alcalino y pg sódica, el Sr es relativamente alto en Sob12-05 y puede deberse a que este elemento suele sustituir al Ca y al K, dado que son rocas en las que se puede inferir que hay poco Ca, el Sr eventualmente fue concentrado en el feldespato alcalino que es más abundante en Sob12-05. Esta interpretación puede atribuirse al zoneamiento modal y textural asociado a fluidos magmáticos que anteriormente fue descrito y que debe haber tenido efecto sobre la distribución de los elementos, de hecho interpreto que el diagrama de tierras raras también es un producto de este zoneamiento, ya que las muestras analizadas son de las zonas ricas en gr, mineral que concentraría las tierras raras pesadas en cambio las tierras raras ligeras pudieron haber escapado hacia las zonas sin gr y donde minerales como el cir cristalizaron en mayor proporción.

La facies de granitoides muestra un patrón de tierras raras similar al mostrado por Roldán-Quintana et al. (2009) para muestras laramídicas terciarias de Sonora Central, en el mismo trabajo se ha interpretado que esos patrones son el efecto de una corteza más gruesa la cual puede enriquecer las tierras raras ligeras. En el caso de la muestra Sob12-38 hay un empobrecimiento en las tierras raras ligeras, pero de hecho eso es compatible con algunas de las muestras presentadas por Roldán-Quintana et al. (2009), sería complicado tratar de explicar las condiciones locales que generan cada patrón específico, pero en general destaca un descenso constante desde el La y cuando se llega al Eu, Gd, Tb y Dy se tiene la tendencia a comportamiento más horizontal, los valores absolutos que cada muestra implica son temas para una discusión a detalle, aunque el patrón es consistente en todas las muestras por lo cual en resumen simplemente se puede establecer que las muestras Sob12-06 y Sob12-38 pertenecen a las típicas rocas laramídicas terciarias de Sonora Central (ver Roldán-Quintana et al., 2009).

Los dioritoides Carricito son muy constantes en sus patrones, a excepción de la anomalía negativa en Ba de Sob12-23a, esta la interpreto como producto de la alteración, ya que la pg en la muestra Sob12-23a está más alterada que en Sob12-25 y el Ba al ser un elemento LILE con coeficiente de partición relativamente alto en la pg eventualmente fue extraído de la pg durante la alteración.

El patrón de tierras raras que baja aproximadamente en línea recta es una característica de los dioritoides Carricito, de las muestras laramídicas de la zona costera de Sonora (Roldán-Quintana et al., 2009) y también de las rocas de la parte este del batolito de las Sierras Peninsulares (Gromet y Silver., 1987) aunque en estas últimas se nota una ligera anomalía negativa en Eu. Podemos ubicar a todas estas rocas como parte del magmatismo laramídico

Cretácico, esencialmente de 80-100 Ma aproximadamente, por lo cual el patrón parece ser temporal.

Rocas de edades similares a los dioritoides Carricito (entre 88-95 Ma) y cercanas a la zona de estudio (unos 30 km al norte, en el área de Bacanora, Sonora) han sido reportadas por Pérez-Segura (2006), se definen como parte de un magmatismo de tendencia adakítica. Los patrones geoquímicos de la parte este del batolito de la Sierras Peninsulares han sido interpretados por Gromet y Silver (1987) como efecto de la fusión parcial del "slab" metamorfoseado a facies de eclogita donde el gr se hace estable. Este proceso ocasiona el patrón adakítico, donde las tierras raras pesadas tienen valores bajos ya que el gr tiene un alto coeficiente de partición con respecto a esas tierras raras.

Martin et al. (2005) define:

*Las adakitas son rocas de composición intermedia a acida que incluyen andesitas, dacitas y riolitas sin basaltos (defand y Drummon ,1990; Maury et al, 1996; Martin, 1999). Son lavas porfídicas que contienen pg zonal, bio, hb y raramente piroxeno (px), Sr > 400 ppm, Ni >24 ppm, Cr > 36 ppm, bajos HREE, Y<18 ppm, Yb <1.8 ppm y (La/Yb)<sub>n</sub> >10.*

Los dioritoides Carricito tienen las siguientes características:

Sob12-25; Sr= 725 ppm; Ni= 24ppm; Cr=204ppm; Y=18ppm; Yb=1.8ppm y (La/Yb)<sub>n</sub> = 7.2.

Sob12-23a; Sr=572ppm; Ni=46ppm; Cr=276ppm; Y=17ppm; Yb= 2.5ppm y (La/Yb)<sub>n</sub>=6.58.

Las tierras raras pesadas están un poco altas y eso causa que los dioritoides Carricito no se puedan definir como adakitas, sin embargo existen similitudes, de hecho no todas las rocas de Pérez-Segura (2006) son estrictamente adakitas, por lo que se puede hablar de una tendencia. Es destacable que el Cr y el Ni tienen valores muy altos para rocas cuarzo dioríticas, comparando con datos presentados por Best (2003) el Cr y el Ni son mucho más altos que en cuarzo dioritas del batolito de la Sierra Nevada e incluso más altos con respecto a basaltos toleíticos de arcos de islas, esto y la carencia en la anomalía de Eu sugieren que esta rocas pueden estar cerca de un magma primario.

La figura 7.5 muestra el diagrama de tierras raras de las rocas de este trabajo junto con una muestra reportada por Pérez-Segura (2006), esta muestra es de tendencia cuarzo diorítica, otras rocas presentadas por el mismo autor suelen ser más ricas en feldespato alcalino. También se graficó el valor promedio para adakitas pobres en sílice (LSA) presentadas por Martin et al. (2005), destaca como en general las muestras de este trabajo y la de Pérez-Segura (2006) son muy parecidas, pero las LSA son mucho más pobres en las tierras raras pesadas, por lo que se puede definir que en Sonora Central hacia el Cretácico Tardío existe

una tendencia hacia el magmatismo adakítico donde las rocas pueden cumplir con la definición de Martin et al. (2005) o a veces estar cerca de dichos parámetros.

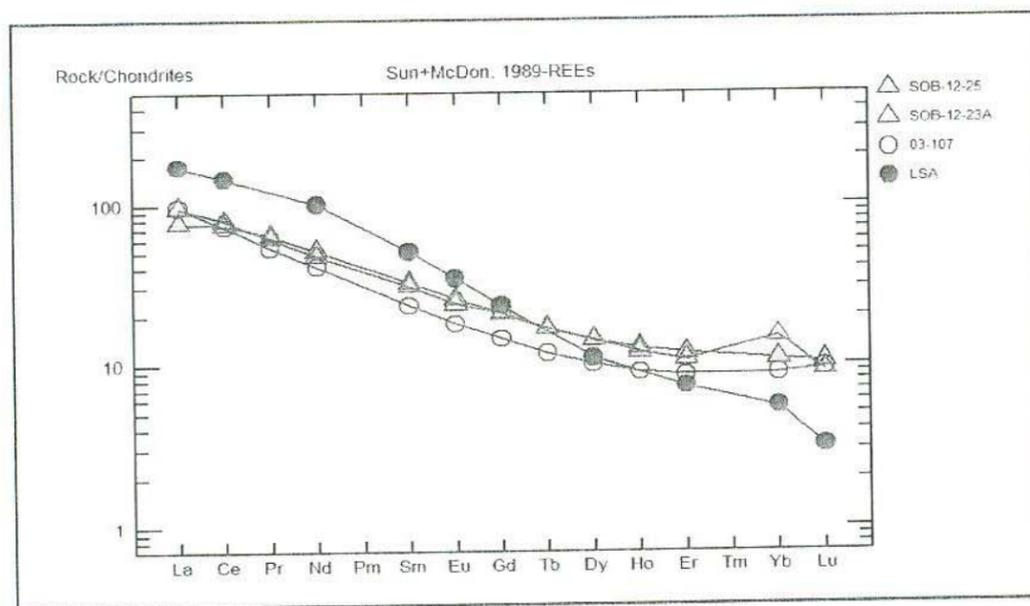


Figura 7.5. Eventos de tendencia adakítica en Sonora Central durante el Cretácico Tardío (Sob12-25 y Sob12-23a este trabajo, 03-107 Pérez-Segura., 2006) y los valores promedio de adakitas pobres en sílice (LSA) en base a los datos de Martin et al. (2005), los valores de normalización son los de Sun y McDonough (1989).

El diagrama “spider” para las muestras de Sonora es presentado en la figura 7.6. Destaca una similitud en los patrones, aunque la muestra 03-107 tiene una anomalía positiva en Pb y también mayor enriquecimiento en elementos LILE, esto podría ser efecto de contaminación con la corteza, dicha contaminación puede ser el factor que ocasione las ligeras diferencias entre los valores de Pérez-Segura (2006) y los de este trabajo, sin embargo parece que hay suficientes similitudes para establecer que pertenecen a un mismo magmatismo.

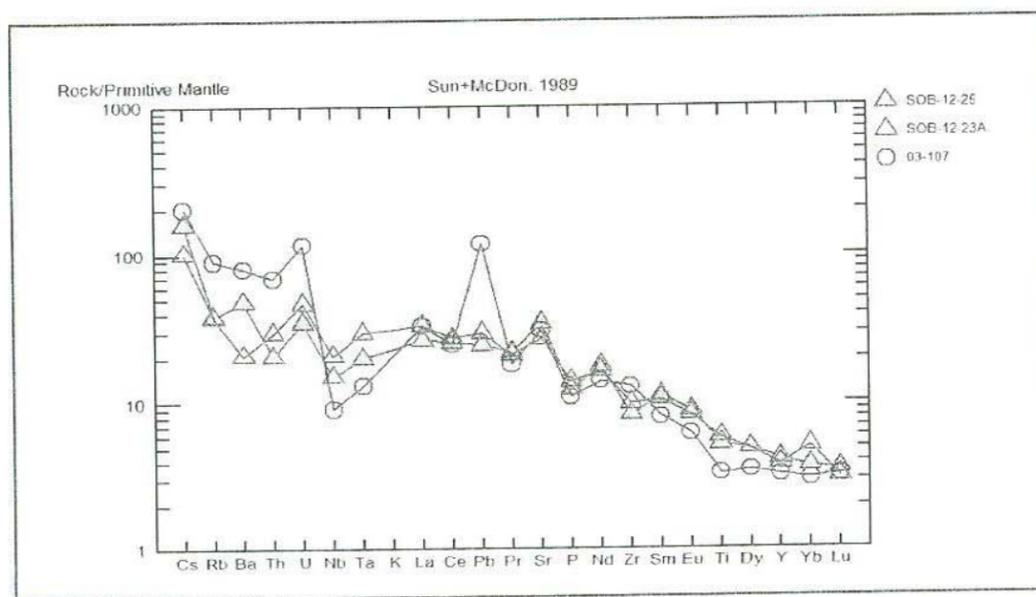


Figura 7.6. Diagrama “spider” para las rocas de Sonora presentadas en la figura 7.5, los valores de normalización son los de Sun y McDonough (1989).

## VIII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

### 8.1 Discusión.

El granito Tónichi es un evento leucogranítico con gr muy similar al presentado por Roldán-Quintana (1993) definido como el batolito de Aconchi, una similitud es que dicho autor describe que el batolito de Aconchi es cortado por unos “diques de andesita”, algo compatible con lo descrito aquí como la facies de diques intermedios de grano fino. Tentativamente se puede establecer que el granito Tónichi es un evento peraluminoso, este tipo de magmatismo comúnmente se asocia a ambientes tectónicos de colisión continental (Barbarin., 1999), aunque en este caso no podemos establecer esas condiciones para el Terciario en Sonora Central, una posibilidad es que el granito Tónichi sea el producto de un magma laramídico (quizás el descrito aquí con la muestra Sob12-06) que se emplazo sobre rocas sedimentarias, formando las rocas metasedimentarias que son muy abundantes en la zona y contaminándose con material arcilloso rico en aluminio, de hecho la asimilación de este tipo de material es un proceso que puede influir en la génesis y complejidad de los leucogranitos peraluminosos (Tartese y Boulvais., 2010). Es sensato mencionar que trabajar dichos magmas es muy complicado si no se tiene un trabajo de campo a detalle y análisis isotópicos, básicamente se puede mencionar que existe un cuerpo con la mineralogía que comúnmente se encuentra en los leucogranitos peraluminosos, pero por el momento no es posible adentrarse en su naturaleza y origen. Tratar de establecerlo como un granito tipo S no es factible porque no todos los granitos peraluminosos son granitos tipo S (Chappell y White., 2001), además es muy importante tener estudios isotópicos que muestren afinidad con una fuente cortical compuesta de rocas sedimentarias peraluminosas o bien un alto grado de contaminación con dicha fuente. Con esta facies en particular se puede proponer poco hasta que no se tengan estudios de campo detallados, geoquímica de elementos mayores y estudios isotópicos.

La facies de granitoides claramente se puede asociar al batolito Laramide y muy posiblemente se emplace sobre la facies dioritoides Carricito, de hecho las rocas de Pérez-Segura (2006) que se pueden asociar a los dioritoides Carricito tienen edades en circones pertenecientes al Cretácico Tardío pero las edades K/Ar en las mismas rocas son equivalentes a los intrusivos laramídicos terciarios.

Los dioritoides Carricito son parte de un magmatismo Cretácico que tiene similitud en los patrones de tierras raras con las rocas laramídicas de la costa de Sonora y con las rocas del este del batolito de las Sierras Peninsulares, en base a los trabajos de Roldán-Quintana et al. (2009) y Gromet y Silver (1987) las diferencias entre las típicas rocas laramídicas terciarias de Sonora Central con los dioritoides Carricito son ocasionadas por los siguientes factores: Una corteza continental más gruesa en la zona central de Sonora y hacia el Cretácico Tardío existía un magmatismo que en parte estaba relacionado a la fusión parcial del “slab” a altas profundidades. Aparentemente la interpretación sobre una corteza continental

más gruesa en Sonora Central es algo que no solo fue controlado por aspectos espaciales sino también temporales.

Resulta interesante pensar en regresar las rocas del batolito de las Sierras Peninsulares a su posición original en el Cretácico Tardío, de seguro resaltaría que el magmatismo en esa época abarcaba un área muy grande, incluso considerando los efectos posicionales que las distensiones terciarias de Sonora pudieron haber causado sobre las rocas del Cretácico. Éste aspecto supone condiciones complejas, quizás el magmatismo del Cretácico Tardío de Sonora Central estaba ubicado en una zona tras-arco, lo que podría explicar porque abarcaba tanta área en un mismo tiempo, independientemente de definir la razón de porqué se dio un magmatismo bajo esas condiciones.

### **8.3 Conclusiones.**

- La facies de granitoides claramente corresponde al batolito Laramide del Terciario en Sonora Central, mientras que la facies llamada granito Tónichi es un evento leucogranítico parecido al batolito de Aconchi (Roldan-Quintana., 1993) y con características mineralógicas similares a las de los granitos peraluminosos.
- La facies dioritoides Carricito es la manifestación plutónica más antigua reportada en Sonora Central y sus características son similares a las rocas plutónicas del Cretácico Tardío reportadas por Pérez-Segura (2006), definidas como el batolito Moras-Novillo-Bacanora, que es de tendencia adakítica y tiene edades entre 88 y 95 Ma. La facies de dioritoides Carricito también se parece en el patrón de tierras raras a las rocas plutónicas cretácicas de la zona costera de Sonora (ver Roldán-Quintana et al., 2009) y a las rocas de la zona este del batolito de las Sierras Peninsulares (ver Gromet y Silver., 1987) que se pueden ubicar en el Cretácico Tardío, por lo cual las condiciones tectono-magmáticas de dicha época parecen estarse manifestando en el batolito Moras-Novillo-Bacanora y los dioritoides Carricito, representando ambos las rocas magmáticas más antiguas en el Centro – Este de Sonora.
- La figura 8.1 muestra una recopilación de edades isotópicas en Sonora, claramente los eventos magmáticos no muestran una variación que relacione notoriamente todas las edades con la posición geográfica, esto establece la posibilidad de que el magmatismo en el NW de México ha sido efecto de condiciones tectónicas diferentes ubicadas cada una en un contexto de tiempo-espacio singular.

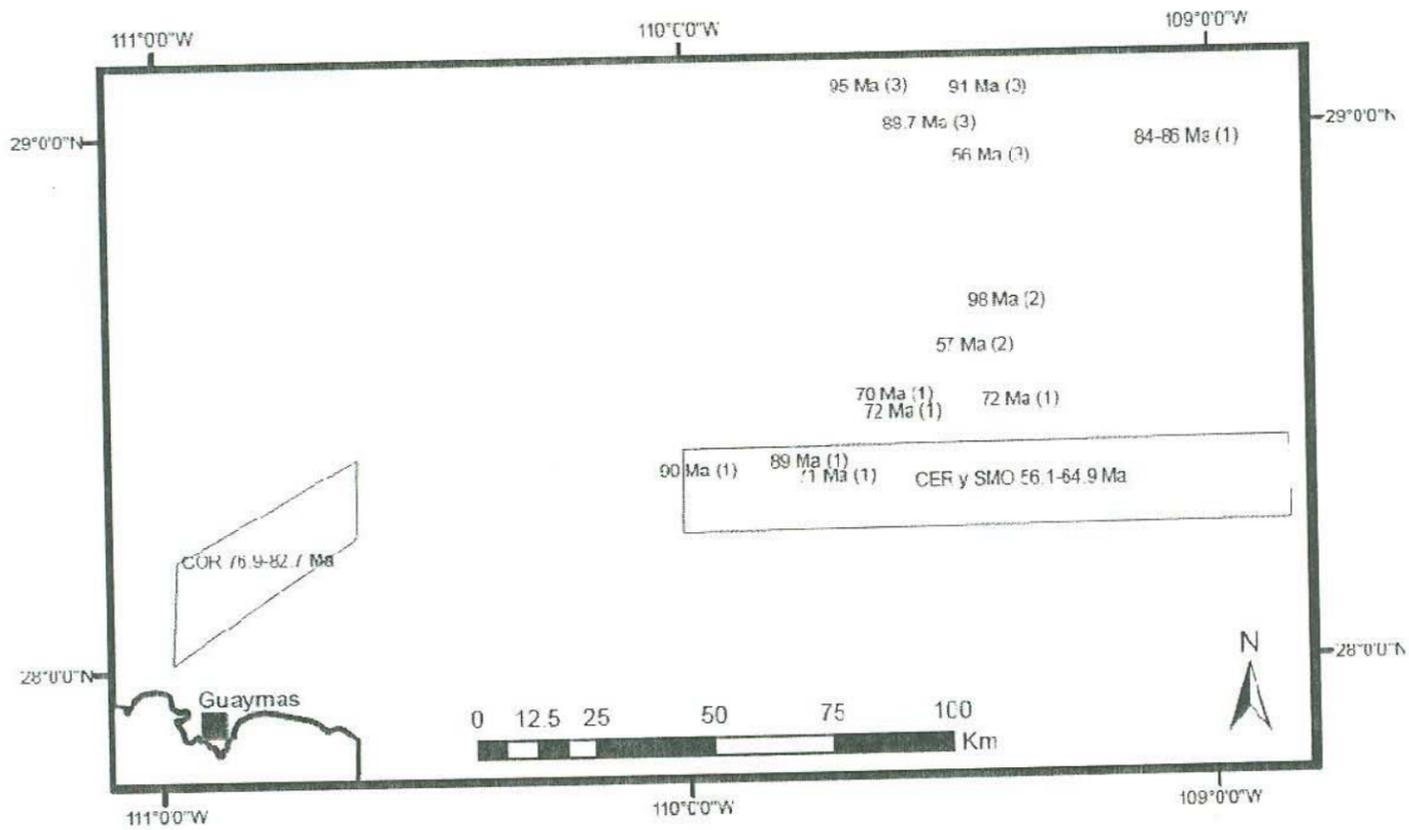


Figura 8.1. Recopilación de edades. (1) McDowell et al, 2001; (2) Este trabajo; (3) Pérez-Segura, 2006; COR, CER y SMO Roldán Quintana et al., 2009.

## 8.2 Prospectivas.

La facies de granitoides parece estar bien definida como parte del batolito Laramide terciario, por lo cual representa menor prioridad para hacer un estudio petrológico.

Sobre el granito Tónichi se ha descrito una hipótesis sobre su origen, la cual no se puede establecer como probable dado la carencia de datos, sin embargo en el cerro El Soberbio parecen estar concentradas las manifestaciones más abundantes de esta facies, de hecho a la cima de dicho cerro hay un claro contacto entre las rocas metasedimentarias y rocas tentativamente plutónicas, por lo cual ya sea que el origen del granito Tónichi sea algo parecido a lo propuesto en este trabajo o algo totalmente diferente, las evidencias muy posiblemente están en el cerro El Soberbio.

Los dioritoides Carricito son una prioridad para un trabajo petrológico-petrogenético, ya que es interesante que un magmatismo de sus características y edad estén en Sonora Central, donde la mayoría de los intrusivos son parecidos a la facies de granitoides.

APENDICE 1. DATOS DE GEOQUIMICA.

|    | SOB-12-06    | SOB-12-25   | SOB-12-32   |
|----|--------------|-------------|-------------|
| Li | 12.14358952  | 10.13652483 | 8.797779585 |
| Be | 2.857327178  | 1.336427541 | 4.017448984 |
| B  | 5.360373015  | 9.521519573 | 5.790227698 |
| P  | 0.051047542  | 0.272268684 | 0.054609971 |
| Sc | 2.092511444  | 21.29798198 | 0.438329729 |
| Ti | 0.156098415  | 1.135547109 | 0.052547912 |
| V  | 8.711386831  | 259.4431969 | 3.238544911 |
| Cr | 0.755625975  | 204.9677881 | 0.606309278 |
| Co | 1.131114216  | 27.26829989 | 0.414928453 |
| Ni | 0.665915845  | 24.19083422 | 0.562037853 |
| Cu | -0.957320179 | 10.86942162 | 0.241251326 |
| Zn | 26.94736124  | 63.49280031 | 11.46632077 |
| Ga | 17.36019618  | 19.72950374 | 18.34867328 |
| Rb | 145.6331796  | 24.60448908 | 305.5508011 |
| Sr | 337.5912618  | 725.3634923 | 5.186318348 |
| Y  | 18.57288362  | 18.88267559 | 6.808097698 |
| Zr | 112.0636074  | 92.94786464 | 33.91549602 |
| Nb | 12.80128026  | 10.90863139 | 37.60485816 |
| Mo | 0.305977365  | 0.369463673 | 0.189464009 |
| Sn | 1.114094578  | 1.037799033 | 2.330116005 |
| Sb | 0.100186488  | 0.128589045 | 0.044213519 |
| Cs | 2.241288848  | 1.251109887 | 1.957287791 |
| Ba | 1017.389254  | 338.192411  | 5.958896556 |
| La | 23.12456743  | 18.24615939 | 2.354114135 |
| Ce | 42.49540499  | 45.95624662 | 6.459879067 |
| Pr | 4.934558963  | 6.118073428 | 0.749742175 |
| Nd | 16.53058184  | 24.13180075 | 3.092960722 |
| Sm | 2.851642263  | 4.986740532 | 0.971596343 |
| Eu | 0.685321459  | 1.486326783 | 0.043248461 |
| Tb | 0.411153172  | 0.627126008 | 0.18296602  |
| Gd | 2.508265348  | 4.318210581 | 0.947122422 |
| Dy | 2.663977348  | 3.607677976 | 1.171916398 |
| Ho | 0.574974281  | 0.714433215 | 0.225864774 |
| Er | 1.704262427  | 1.939862813 | 0.586571544 |
| Yb | 1.81316615   | 1.82226292  | 0.67337855  |
| Lu | 0.260288586  | 0.262449353 | 0.095099812 |
| Hf | 3.248471542  | 2.498356784 | 2.298774542 |
| Ta | 1.37368877   | 0.822467431 | 4.201589588 |
| W  | 0.29312472   | 0.149860425 | 0.537627931 |
| Tl | 0.556817472  | 0.109616837 | 1.0314179   |
| Pb | 17.19282747  | 1.763135129 | 9.759222343 |
| Th | 10.13843113  | 1.769961446 | 3.499257789 |
| U  | 2.672826749  | 0.736583857 | 2.763942196 |

|    | SOB-12-38   | SOB-12-05    | SOB-12-23A  |
|----|-------------|--------------|-------------|
| Li | 23.9556608  | 10.13598086  | 9.874057076 |
| Be | 3.055460543 | 3.105230694  | 1.497658544 |
| B  | 10.20370918 | 3.409983567  | 13.53164699 |
| P  | 0.096057665 | 0.08749834   | 0.306279107 |
| Sc | 6.680321259 | 0.791143371  | 28.60049412 |
| Ti | 0.489234167 | 0.049260142  | 1.268007786 |
| V  | 77.02549902 | 1.863500282  | 272.1243572 |
| Cr | 7.97741019  | 0.190273388  | 276.6575081 |
| Co | 8.805719197 | 0.228070421  | 28.95027476 |
| Ni | 5.920070272 | -0.340088309 | 46.18202566 |
| Cu | 6.693359318 | -0.090870274 | 12.43492909 |
| Zn | 75.86383631 | 10.15928176  | 67.85286415 |
| Ga | 17.1919139  | 21.3157861   | 19.52948935 |
| Rb | 181.3990383 | 267.9471015  | 23.84729263 |
| Sr | 333.0581317 | 43.04976552  | 572.6142284 |
| Y  | 11.06432692 | 8.737744727  | 17.3225374  |
| Zr | 80.02783081 | 21.35547768  | 111.2015978 |
| Nb | 18.36778452 | 30.76779778  | 15.0494806  |
| Mo | 0.791277759 | 0.204377181  | 0.377988875 |
| Sn | 1.47328752  | 1.026971274  | 1.52392931  |
| Sb | 0.364371066 | 0.083164176  | 0.516761346 |
| Cs | 6.841352458 | 3.004508905  | 0.802001387 |
| Ba | 733.1367557 | 67.38941052  | 147.2705639 |
| La | 13.03432578 | 2.363749863  | 22.94726482 |
| Ce | 30.72741208 | 5.047520796  | 48.67508801 |
| Pr | 3.813660929 | 0.575518611  | 5.870322168 |
| Nd | 13.70115306 | 2.347119356  | 22.31501764 |
| Sm | 2.561738768 | 0.758743554  | 4.708768514 |
| Eu | 0.760073485 | 0.06975358   | 1.393061586 |
| Tb | 0.320876992 | 0.205299998  | 0.634490963 |
| Gd | 2.187109602 | 0.893688058  | 4.336489494 |
| Dy | 1.821106234 | 1.400032311  | 3.589000311 |
| Ho | 0.365338449 | 0.257359001  | 0.676530128 |
| Er | 1.029719624 | 0.732789766  | 1.764410824 |
| Yb | 1.196991304 | 1.434500428  | 2.50643349  |
| Lu | 0.18935832  | 0.213906649  | 0.231459225 |
| Hf | 2.437293125 | 0.931557967  | 3.093808688 |
| Ta | 1.55797077  | 2.516897748  | 1.214678227 |
| W  | 0.253251334 | 0.62831122   | 0.274820581 |
| Tl | 0.823407594 | 0.886351509  | 0.100939563 |
| Pb | 16.63369198 | 10.34332466  | 2.114743412 |
| Th | 15.66839248 | 3.518105203  | 2.523463672 |
| U  | 5.502592288 | 11.0594632   | 0.988305181 |

Fosforo en % Wt y en su forma química P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Titanio en % Wt y en su forma química TiO<sub>2</sub>. Los demás elementos en ppm, valores negativos significa no detectado.

APENDICE 2. DATOS DE GEOCRONOLOGÍA.

|                 | CORRECTED AGES (Ma)              |      |                                  |      |                                   |      |                                   |      | Best age (Ma) | ±1s*       |
|-----------------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|------|---------------|------------|
|                 | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | ±1s* | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | ±1s* | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | ±1s* | $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ | ±1s* |               |            |
| <b>SOB12-25</b> |                                  |      |                                  |      |                                   |      |                                   |      |               |            |
| Zircon<br>_12   | 92.0                             | 0.9  | 101                              | 5    | 317                               | 119  | 75                                | 3    | 92.0          | 0.9        |
| Zircon<br>_11   | 94.3                             | 0.8  | 98                               | 3    | 173                               | 85   | 76                                | 3    | 94.3          | 0.8        |
| Zircon<br>_16   | 94.5                             | 0.8  | 102                              | 4    | 279                               | 91   | 77                                | 2    | 94.5          | 0.8        |
| Zircon<br>_18   | 95.9                             | 0.8  | 102                              | 4    | 248                               | 84   | 79                                | 3    | <b>95.9</b>   | <b>0.8</b> |
| Zircon<br>_9    | 97.0                             | 2.0  | 129                              | 11   | 828                               | 188  | 84                                | 5    | <b>97.0</b>   | <b>2.0</b> |
| Zircon<br>_3    | 97.4                             | 1.0  | 103                              | 4    | 234                               | 94   | 84                                | 2    | <b>97.4</b>   | <b>1.0</b> |
| Zircon<br>_13   | 97.5                             | 0.9  | 104                              | 4    | 256                               | 99   | 81                                | 3    | <b>97.5</b>   | <b>0.9</b> |
| Zircon<br>_10   | 98.0                             | 1.0  | 126                              | 6    | 700                               | 114  | 90                                | 4    | <b>98.0</b>   | <b>1.0</b> |
| Zircon<br>_14   | 98.0                             | 1.0  | 114                              | 8    | 477                               | 162  | 93                                | 4    | <b>98.0</b>   | <b>1.0</b> |
| Zircon<br>_6    | 99.0                             | 1.0  | 108                              | 6    | 330                               | 132  | 82                                | 3    | <b>99.0</b>   | <b>1.0</b> |
| Zircon<br>_19   | 99.0                             | 1.0  | 125                              | 7    | 670                               | 116  | 89                                | 4    | <b>99.0</b>   | <b>1.0</b> |
| Zircon<br>_1    | 101.0                            | 2.0  | 145                              | 19   | 1009                              | 299  | 109                               | 9    | <b>101.0</b>  | <b>2.0</b> |
| Zircon<br>_15   | 101.0                            | 2.0  | 143                              | 12   | 924                               | 189  | 98                                | 7    | <b>101.0</b>  | <b>2.0</b> |
| Zircon<br>_8    | 102.0                            | 1.0  | 103                              | 4    | 126                               | 102  | 92                                | 3    | 102.0         | 1.0        |
| Zircon<br>_17   | 102.0                            | 1.0  | 120                              | 9    | 495                               | 174  | 88                                | 6    | 102.0         | 1.0        |
| Zircon<br>_7    | 109.0                            | 2.0  | 149                              | 9    | 862                               | 138  | 110                               | 8    | 109.0         | 2.0        |

|                  | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | $\pm 1s^*$ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | $\pm 1s^*$ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $\pm 1s^*$ | $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ | $\pm 1s^*$ |  | Best age (Ma) | $\pm 1s^*$ |
|------------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|--|---------------|------------|
| <b>SOB 12-38</b> |                                  |            |                                  |            |                                   |            |                                   |            |  |               |            |
| Zirco n_20       | 53.4                             | 0.4        | 56                               | 2          | 169                               | 88         | 39                                | 1          |  | 53.4          | 0.4        |
| Zirco n_8        | 55.5                             | 0.4        | 56                               | 2          | 62                                | 59         | 45                                | 2          |  | <b>55.5</b>   | <b>0.4</b> |
| Zirco n_17       | 55.6                             | 0.6        | 56                               | 2          | 74                                | 75         | 42                                | 1          |  | <b>55.6</b>   | <b>0.6</b> |
| Zirco n_15       | 55.7                             | 0.5        | 57                               | 2          | 96                                | 83         | 44                                | 2          |  | <b>55.7</b>   | <b>0.5</b> |
| Zirco n_9        | 56.0                             | 0.4        | 60                               | 3          | 231                               | 97         | 43                                | 2          |  | <b>56.0</b>   | <b>0.4</b> |
| Zirco n_3        | 56.9                             | 0.4        | 55                               | 2          | -20                               | 62         | 45                                | 2          |  | <b>56.9</b>   | <b>0.4</b> |
| Zirco n_4        | 57.6                             | 0.5        | 58                               | 2          | 104                               | 84         | 44                                | 2          |  | 57.6          | 0.5        |
| Zirco n_2        | 58.2                             | 0.5        | 61                               | 2          | 177                               | 80         | 47                                | 2          |  | 58.2          | 0.5        |
| Zirco n_14       | 58.3                             | 0.5        | 54                               | 2          | -74                               | 65         | 44                                | 2          |  | <b>58.3</b>   | <b>0.5</b> |
| Zirco n_6        | 58.6                             | 0.4        | 63                               | 2          | 248                               | 77         | 47                                | 2          |  | <b>58.6</b>   | <b>0.4</b> |
| Zirco n_11       | 59.3                             | 0.6        | 60                               | 2          | 99                                | 87         | 44                                | 2          |  | <b>59.3</b>   | <b>0.6</b> |
| Zirco n_1        | 59.4                             | 0.6        | 68                               | 4          | 400                               | 119        | 48                                | 2          |  | <b>59.4</b>   | <b>0.6</b> |
| Zirco n_13       | 59.4                             | 0.5        | 60                               | 2          | 69                                | 61         | 48                                | 2          |  | <b>59.4</b>   | <b>0.5</b> |
| Zirco n_10       | 60.2                             | 0.6        | 77                               | 3          | 629                               | 87         | 50                                | 2          |  | <b>60.2</b>   | <b>0.6</b> |
| Zirco n_7        | 60.3                             | 0.6        | 72                               | 3          | 469                               | 100        | 50                                | 2          |  | <b>60.3</b>   | <b>0.6</b> |
| Zirco n_16       | 60.4                             | 0.8        | 71                               | 4          | 463                               | 113        | 47                                | 2          |  | <b>60.4</b>   | <b>0.8</b> |
| Zirco n_5        | 60.6                             | 0.6        | 68                               | 4          | 329                               | 142        | 48                                | 2          |  | <b>60.6</b>   | <b>0.6</b> |
| Zirco n_19       | 61.7                             | 0.5        | 62                               | 2          | 73                                | 62         | 47                                | 2          |  | 61.7          | 0.5        |
| Zirco n_18       | 61.8                             | 0.6        | 62                               | 3          | 76                                | 95         | 47                                | 2          |  | 61.8          | 0.6        |

## BIBLIOGRAFIA.

- Amaya-Martínez, R., (1987). Carta Geológica 1:50000 H12D65 Tónichi: Cartografía a semidetalle para PEMEX.
- Barbarin, B., 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments: *Lithos* 46 (1999) 605-626.
- Barrera-Moreno, E., Dominguez-Perla, J.E., 1987. Geología de la Carta Tónichi (H12D65) con énfasis en el Paleozoico porción central del Estado de Sonora (tesis de licenciatura): Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora.
- Best, M. G., 2003. *Igneous and Metamorphic Petrology*, second edition: Blackwell Publishing, 729 pag.
- Chapell, B.W., White, A.J.R., 2001. Two contrasting granite types: 25 years later: *Australian Journal of Earth Sciences* (2001) 48, 489-499.
- Damon, P.E., Shafiqullah, M., Roldan-Quintana, J., and Cochemé, J.J., 1983. El Batolito Laramide (90-40 Ma) de Sonora: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y – Geólogos de México, A.C. Memoria de la XV Convención Nacional, Guadalajara, Jalisco., p.63-95.
- Gromet, P.L., Silver, L.T., 1987. REE variation across the Peninsular Ranges Batholith: Implication for Batholithic petrogenesis and crustal growth in magmatic arcs: *Journal of Petrology*, 1987, vol.28, part I, 75-125.
- Le Maitre (editor)., 2002. *Igneous Rocks, A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*, second edition: Cambridge University Press, 236 pag.
- Martin, H., Smithies, R.H., Rapp, R., Moyen, J.F., Champion, D., 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: Relationships and some implication for crustal evolution: *Lithos* (2005) 79, 1-24.
- McDowell, F.W., Roldán-Quintana, J., Conelly, J. N., 2001. Duration of late Cretaceous-early Tertiary magmatism in east-central Sonora, Mexico: *GSA Bulletin* (2011) v.113, no.4, 521-531.
- Mori, L., Gomez-Tuena, A., Schaaf, P., Goldstein, S.L., Perez-Arvizu, O., Solis-Pichardo, G., 2009. Lithospheric removal as a trigger for flood basalt magmatism in the Trans-Mexican Volcanic Belt: *Journal of Petrology*, 2009, v.50, n.11, p. 2157-2186.

Pérez-Segura, E., 2006. Estudio metalogénico de los yacimientos de Ni-Co (Cu-Zn) de la Esperanza, Sonora Central: caracterización de los depósitos y relaciones con el magmatismo laramídico (tesis de doctorado): Juriquilla, Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México. 330 pag.

Roldán-Quintana, J., 1991. Geology and chemical composition of the Jaralito and Aconchi batholiths in east-central Sonora, Mexico: in Pérez-Segura, E., and Jacques-Ayala, C., eds., 1991, Studies of Sonoran geology: Geological Society of America Special Paper 254, 69-80.

Roldán-Quintana, J., McDowell, F. W., Delgado-Granados, H., and Valencia-Moreno, M., 2009. East-west variations in age, chemical and isotopic composition of the Laramide batholith in southern Sonora, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v.26, núm.3, 2009, 543-563.

Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes: Geological Society, London, Special Publications 1989; v. 42; p. 315-345.

Tartese, R., Boulvais, P. 2010. Differentiation of peraluminous leucogranites "en route" to the surface: Lithos 114 (2010) 353-368.

Páginas WEB consultadas.

<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/fisiografia/provincias.gif>