



Geocronología de circones detríticos de diferentes localidades del Esquisto Granjeno en el noreste de México

José Rafael Barboza-Gudiño^{1, *}, Juan Alonso Ramírez-Fernández²,
Sonia Alejandra Torres-Sánchez² y Víctor A. Valencia³

¹ Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología/DES Ingeniería, Manuel Nava No. 5. Zona Universitaria, 78240, San Luis Potosí, S.L.P., México.

² Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carretera Linares Cerro Prieto km 8, 67700 Linares, N.L., México.

³ Valencia Geoservices, 3389 N River Rapids Dr., Tucson AZ 85712.

* rbarboza@uaslp.mx

Resumen

En el noreste de México, el Esquisto Granjeno aflora en los núcleos de estructuras plegadas de la Sierra Madre Oriental, como el Anticlinorio Huizachal-Peregrina o los altos de Miquihuana y Bustamante, en Tamaulipas, y Aramberri en Nuevo León. El trabajo de campo y el estudio petrográfico han permitido reconocer las distintas litofacies y relaciones estratigráficas presentes en las diferentes localidades, así como el grado y estilo de deformación. Aunque la geocronología de circones detríticos, en muestras de los diferentes protolitos clásticos, permite reconocer procedencias principalmente grenvillianas (1250-920 Ma) y panafricanas (730-530 Ma), es relevante destacar algunas diferencias en la edad máxima del depósito que se puede interpretar para las muestras procedentes de las distintas localidades, que abarcan desde el Neoproterozoico hasta el Silúrico o posiblemente el Devónico. Asimismo, se observan algunas poblaciones con menor representación de circones, de edades proterozoicas y paleozoicas, que corresponden aparentemente a eventos tectonomagmáticos poco estudiados hasta el momento, como el magmatismo ordovícico-silúrico. El presente estudio sustenta un origen del Esquisto Granjeno estrechamente ligado a la porción noroccidental de Gondwana, sumándose así, dada la ausencia de procedencias características del suroeste del cratón de Norteamérica, a la serie de argumentos en oposición al desplazamiento lateral izquierdo de México de varios cientos de kilómetros durante el Jurásico Superior, previamente propuesto por la hipótesis de la megacizalla Mojave-Sonora. El metamorfismo del Esquisto Granjeno, ocurrido en el Paleozoico tardío, estaría relacionado a un proceso de subducción en la margen occidental de Pangea (Cinturón Granjeno-Acatlán), en etapa posterior a la colisión de Laurencia y Gondwana (Cinturón Sonora-Ouachita-Marathon). Lo anterior resulta acorde con la presencia del arco magmático permo-triásico en la porción oriental de México, el cual es claramente un producto de la misma subducción en su etapa de gran ángulo, inmediatamente posterior a la deformación y metamorfismo durante la fase de subducción inicial de bajo ángulo.

Palabras clave: Paleozoico metamórfico, noreste de México, geocronología U-Pb, procedencia.

Abstract

In northeastern Mexico, the Granjeno Schist crops out in the core of some of the Sierra Madre Oriental fold structures, such as the Huizachal-Peregrina Anticlinorium or the Miquihuana, Bustamante (both in Tamaulipas) and Aramberri (Nuevo León) uplifts. Field work and petrographic analysis of samples from selected localities, have allowed the recognition of different lithofacies, metamorphic grade and deformational style, as well as stratigraphic relationships. Although detrital zircon geochronology of all different clastic protoliths revealed mainly Grenville (1250-920 Ma) and Panafrican (730-530 Ma) provenance ages, differences in the maximum depositional ages, ranging from Neoproterozoic to Silurian and probably Devonian times, should be noticed. Minor zircon populations

of Proterozoic and Paleozoic ages apparently correlate with less studied tectonomagmatic events in Mexico, as the Ordovician-Silurian magmatism. This study supports the idea that the origin of the Granjeno Schist is closely related to Grenville and Panafrican blocks from northwestern Gondwana. Our data, due to a lack of provenances from the southwestern portion of the North American craton, disagree with a sinistral displacement of a part of Mexico along several hundreds of kilometers in Late Jurassic time, as previously proposed by the Mojave-Sonora megashear hypothesis. Granjeno Schist metamorphism during the late Paleozoic could be related to a subduction process along the Pangea western margin (Granjeno-Acatlán Belt), after the Laurentia and Gondwana collision (Sonora-Oucahita-Marathon Belt). This correlates well with the Permo-Triassic magmatic arc in eastern Mexico, which is clearly a product of the same subduction during its high angle stage, following deformation and metamorphism produced by the initial low angle stage.

Keywords: metamorphic Paleozoic, northeastern Mexico, U-Pb geochronology, provenance.

1. Introducción

El Esquisto Granjeno (Carrillo-Bravo, 1961) está compuesto de rocas metamorizadas en facies de esquistos verdes, que ocurren en forma de rocas metavolcánicas y metasedimentarias esquistosas, filitas, algunas cuarcitas y otras rocas silíceas, además de serpentinitas y metagabros. Estas rocas metamórficas afloran en dos bloques delimitados por fallas de orientación general NW-SE en el núcleo del Anticlinorio Huizachal-Peregrina en la Sierra Madre Oriental, al poniente de Ciudad Victoria, Tamaulipas (Figura 1). En esa localidad existen también importantes afloramientos de gneises precámbricos (~1.0 Ga; Ortega-Gutiérrez, 1978) y de rocas sedimentarias paleozoicas no metamorizadas, que incluyen capas del Silúrico con fauna de afinidad gondwánica, así como una serie de unidades del Carbonífero y el Pérmico inferior (Stewart *et al.*, 1999), cuya edad de depósito es, por lo menos, en parte equivalente a la del metamorfismo del Esquisto Granjeno. En el cañón del Novillo, que corta al citado anticlinorio en su extremo sur, además del Esquisto Granjeno se observa un cuerpo lenticular de serpentinitas de varios kilómetros de largo y hasta varios cientos de metros de ancho. La orientación de este cuerpo es NW-SE, coincidente, de manera general, con la orientación de los bloques descritos, así como con el rumbo preferencial de la foliación del esquisto (De Cserna *et al.*, 1977). Además de los afloramientos del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, se han considerado correlacionables con esta unidad algunas rocas similares que afloran al sur, en la zona de Miquihuana y Bustamante, Tamaulipas (Figura 1), así como extensos afloramientos que ocurren al poniente del poblado de Aramberri, Nuevo León (Garrison, 1978; Meiburg *et al.*, 1987).

Petrográficamente, el Esquisto Granjeno presenta una mineralogía relativamente simple, correspondiente a la facies de esquistos verdes con variantes de esquistos de clorita-muscovita-albita-cuarzo±turmalina y biotita-muscovita-grafito-albita-cuarzo (Torres Sánchez, 2009) a cuarcitas y esquistos de clorita-epidota-actinolita. En base a estas composiciones, se interpretan protolitos siliciclásticos de diferentes facies sedimentarias, volcánicas

de composiciones intermedia a máfica (rocas verdes), así como rocas ultramáficas, en el caso de las serpentinitas (crisotilo, antigorita, magnetita y stichtita; Ehricke, 1998). En base a la identificación de pseudomorfos de crisotilo y bastita, Ortega-Gutiérrez (1978) interpretó el protolito de esta roca como una harzburgita. En algunas de estas rocas metamórficas se observan también zoisita y esfena, además de algunos lentes de mármoles con tremolita y clorita.

Las dataciones isotópicas existentes en la literatura se reducían hasta hace poco tiempo a una serie de edades por Rb-Sr y K-Ar para el Esquisto Granjeno del área de Ciudad Victoria, Tamaulipas, y sólo dos edades K-Ar para el área de Aramberri, Nuevo León (Denison *et al.*, 1971; De Cserna *et al.*, 1977; De Cserna y Ortega-Gutiérrez, 1978; Garrison *et al.*, 1980). Las edades reportadas por los diferentes autores varían desde el Paleozoico Inferior hasta el Paleozoico Superior. Finalmente, en base a algunas de estas edades se interpretó un metamorfismo de bajo grado del Pensilvánico-Pérmico, dado el promedio de las edades K-Ar de micas, calculado por Garrison *et al.* (1980) en 298 ± 16 Ma, sin precisar en todos los casos el tipo de las micas datadas, que van de 257 ± 8 Ma, la mínima (De Cserna *et al.*, 1977) hasta 318 ± 10 Ma la máxima (Fries *et al.*, 1962). En el caso específico del Esquisto Granjeno en Aramberri, se trata de dos edades K-Ar en moscovita, de 270 ± 5 Ma y 294 ± 6 Ma (Denison *et al.*, 1971).

Las edades Rb-Sr varían entre 320 ± 12 Ma (moscovita + roca total), reportada por Garrison *et al.* (1980), y 452 ± 45 Ma (roca total), reportada por De Cserna y Ortega-Gutiérrez (1978). Garrison (1978) calculó una edad de 333 ± 30 Ma en base a una isócrona Rb/Sr de cuatro puntos, construida con información de Denison *et al.* (1971), y resaltó la consistencia de estos datos con las edades K-Ar, tomando en cuenta los errores analíticos y estableciendo así que dichos datos son congruentes con una edad apalachiana, más joven que la edad inicialmente propuesta por De Cserna *et al.* (1977) y en desacuerdo con el modelo de un alóctono del Paleozoico Inferior, propuesto por los mismos autores. Finalmente, Dowe *et al.* (2005) reportaron edades de 351 ± 54 Ma, de acuerdo con una intersección inferior de U-Pb en circones, y de 313 ± 7 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$). Ésta

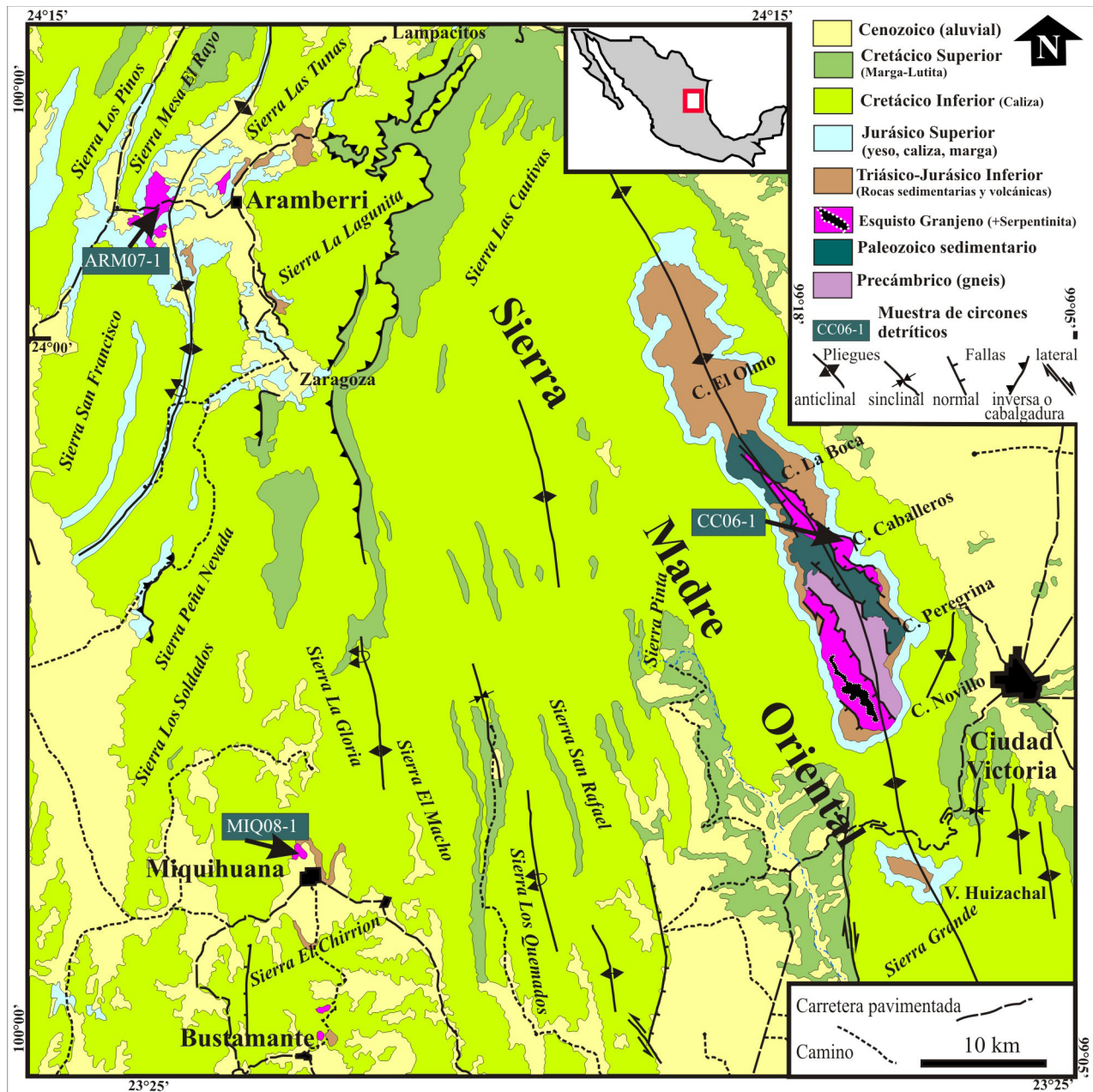


Figura 1. Mapa geológico y de localización de los afloramientos del Esquisto Granjeno en la Sierra Madre Oriental, estados de Nuevo León y Tamaulipas.

está considerada como una edad de meseta en moscovita para el leucogranito emplazado en la falla límite entre el Esquisto Granjeno y el Gneis Novillo, en el cañón del Novillo, así como una edad de meseta de 300 ± 4 Ma en fengita de un queratófido de cuarzo. Nance *et al.* (2007) reportaron edades U-Pb de 56 circones detríticos de una muestra de esquisto colectada en el cañón del Novillo, de los cuales aproximadamente un 70 % corresponden a edades paleoproterozoicas y mesoproterozoicas (1640-1018 Ma) y cinco edades del Neoproterozoico temprano (991-880 Ma). Un solo circón arrojó una edad del Paleoproterozoico (2106 Ma) y uno más una edad del Arqueano (2736 Ma). Se registraron cuatro edades del Neoproterozoico tardío

(650-546 Ma) y únicamente 6 circones arrojaron edades paleozoicas, comprendidas en el rango de 527 a 433 Ma; se registró un circón discordante de 336 ± 98 Ma. Estos autores interpretaron procedencias de bloques perigondwánicos, como el de Oaxaquia, y sugirieron una correlación en edad y evolución tectónica con la Formación Cosoltepec del Complejo Acatlán en el sur de México.

El objetivo del presente trabajo ha sido comparar las diferentes localidades del Esquisto Granjeno en el NE de México, con base en el estudio de campo, petrográfico y la geocronología de circones detríticos, a fin de interpretar las edades máximas del depósito de los protolitos y la procedencia de sus respectivas regiones fuente.

2. Trabajo de campo

El trabajo desarrollado en campo durante la presente investigación, consistió en la toma de muestras para la separación de circones y preparación de algunas láminas delgadas, así como la descripción de afloramientos y la toma de algunos datos estructurales. Se recolectaron muestras en las diferentes localidades, en promedio 10 a 12 kg de roca por cada muestra, con la finalidad de obtener un mínimo de 100 circones. Las muestras fueron recolectadas preferentemente de las facies metapsamíticas, con la finalidad de obtener la mayor proporción de fracción de minerales pesados. Finalmente, de cinco muestras recolectadas, tras la preparación y debido al contenido escaso de circones o a un contenido muy elevado de otros minerales pesados, se seleccionaron sólo tres para su análisis, mismas que corresponden a las áreas de Aramberri, Miquihuana y cañón de Caballeros.

La muestra colectada en el área de Aramberri, Nuevo León (ARM07-1) proviene de una facies metapsamítica o cuarcita de grano fino a medio, ubicada en un afloramiento sobre la carretera La Escondida-Aramberri (coordenadas: 24°06.26'N, 99°53.76'W, datum WGS84). La deformación del esquistos en estos afloramientos es el resultado de por lo menos tres eventos compresivos sobrepuestos (D_1 , D_2 y D_3), lo cual es evidente en los afloramientos por la presencia de las correspondientes superficies de foliación (S_1 , S_2 y S_3). La foliación S_1 , afectada por plegamiento isoclinal, es comúnmente paralela a superficies S_2 y sobre éstas se observan lineaciones por crenulación, resultado de la intersección con superficies S_3 . Frecuentemente, las superficies S_2 pueden ser subparalelas a la estratificación (S_0), la cual se reconoce por ligeros cambios de litología o granulometría de la roca, como capas delgadas a medianas de cuarcitas de grano fino interestratificadas en la secuencia predominantemente pelítica (Figuras 2A y 3A). Existen también bandas de cuarzo paralelas a algunas superficies de foliación, las cuales exhiben estrías y crecimientos lineales de cuarzo, resultado de deslizamientos tipo *detachment*, de bajo ángulo, lo cual es evidencia de un posible levantamiento del bloque de esquistos en etapa posterior al metamorfismo y bajo condiciones de una deformación semifrágil. Lo anterior, a juzgar por el brechamiento de las vetas de cuarzo y por la presencia de vetas *en échelon* subverticales (Figura 2B), mostrando los mismos cizallamientos que se pueden interpretar en base a las estrías sobre los planos de foliación.

En la región de Aramberri, Nuevo León, los esquistos, cuya base no aflora, subyacen a rocas volcánicas del Jurásico Inferior (Barboza-Gudiño et al., 2008), a capas rojas del Jurásico Inferior a Medio, pertenecientes a la Formación La Boca (Mixon et al., 1959), a brechas de la Formación La Joya del Jurásico Medio a Superior (Mixon et al., 1959) y a evaporitas y carbonatos de la base de la transgresión marina del Jurásico Superior pertenecientes a las formaciones Novillo (Heim, 1940), Minas Viejas (Humphrey, 1954) y

Zuloaga (Imlay, 1938). Cabe mencionar que, a diferencia de la zona del Anticlinorio Huizachal-Peregrina o la región de San Marcos-El Alamar, al sur de Galeana, Nuevo León, en el área de Aramberri no afloran rocas triásicas (Figura 4).

En el área de Miquihuana fue colectada la muestra MIQ08-1 en un muy pequeño afloramiento de los esquistos, al norte del poblado de Miquihuana, Tamaulipas (coordenadas: 23°35.65'N, 99°45.6'W, datum WGS84). En esta zona, los afloramientos de esquistos, principalmente pelítico, son escasos y están cubiertos en gran medida por depósitos aluviales, lo que dificulta la medición de datos estructurales. Sin embargo, la orientación preferencial de la foliación parece corresponder a las superficies S_2 descritas en otros afloramientos. Muestra una orientación de rumbo general NW-SE y plegamiento buzante en la misma dirección hacia el NW, coincidente con lineares (L_3) medidos en el mismo afloramiento (Figura 3B).

En la localidad de Bustamante, Tamaulipas, los afloramientos, aunque son de pequeñas dimensiones, son un poco más extensos que en el área de Miquihuana. Están constituidos de una filita a esquistos pelítico silíceo, en donde las superficies de foliación (S_2) muestran un rumbo general NNE-SSW, con pliegues intrafoliales de superficies S_1 y lentes o bandas de cuarzo (Figura 2C). Además, incluyen frecuentes bandas de acoplamiento de pliegues de las superficies S_2 en el rango de centímetros a decímetros y *kink bands*, presentándose también lineares L_3 subhorizontales, de orientación general NNW-SSE (Figura 3C). En los afloramientos de Miquihuana y Bustamante no aflora la base del esquistos y el mismo subyace de manera discordante a rocas volcánicas de composición intermedia y capas rojas del Jurásico Inferior a Medio (Figura 4).

Finalmente, la muestra procedente del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, corresponde a los afloramientos del cañón de Caballeros (CC06-1), en donde se tomó una muestra de esquistos psamítico-pelítico sobre el lecho del río, en el sitio denominado Poza El Huarache (coordenadas: 23°49.31'N, 99°16.48'W, datum WGS84). En estos afloramientos se observan esquistos con numerosos lentes y bandas de cuarzo de segregación, a su vez deformados por plegamiento isoclinal que corresponde con superficies de foliación S_1 , mismas que son comúnmente cortadas por una foliación S_2 (Figuras 2D y 3D). En algunos casos, se observan alternancias rítmicas similares a secuencias *flyschoides* (Figura 2E), comparables a algunas que se presentan sin metamorfismo en la secuencia sedimentaria paleozoica. Una foliación o clivaje S_3 está representada por un juego espaciado de *kink bands* que, en los afloramientos del cañón de Caballeros ocasionalmente se observan a manera de un sistema conjugado. Un crucero o clivaje espaciado se manifiesta también más frecuentemente al microscopio (Figura 2F) y tiende a aparecer como una incipiente lineación por crenulación sobre las superficies S_2 .

Otros elementos estructurales que se observan comúnmente en estas rocas, en los diferentes afloramientos, son los ejes de pliegues isoclinales de superficies de

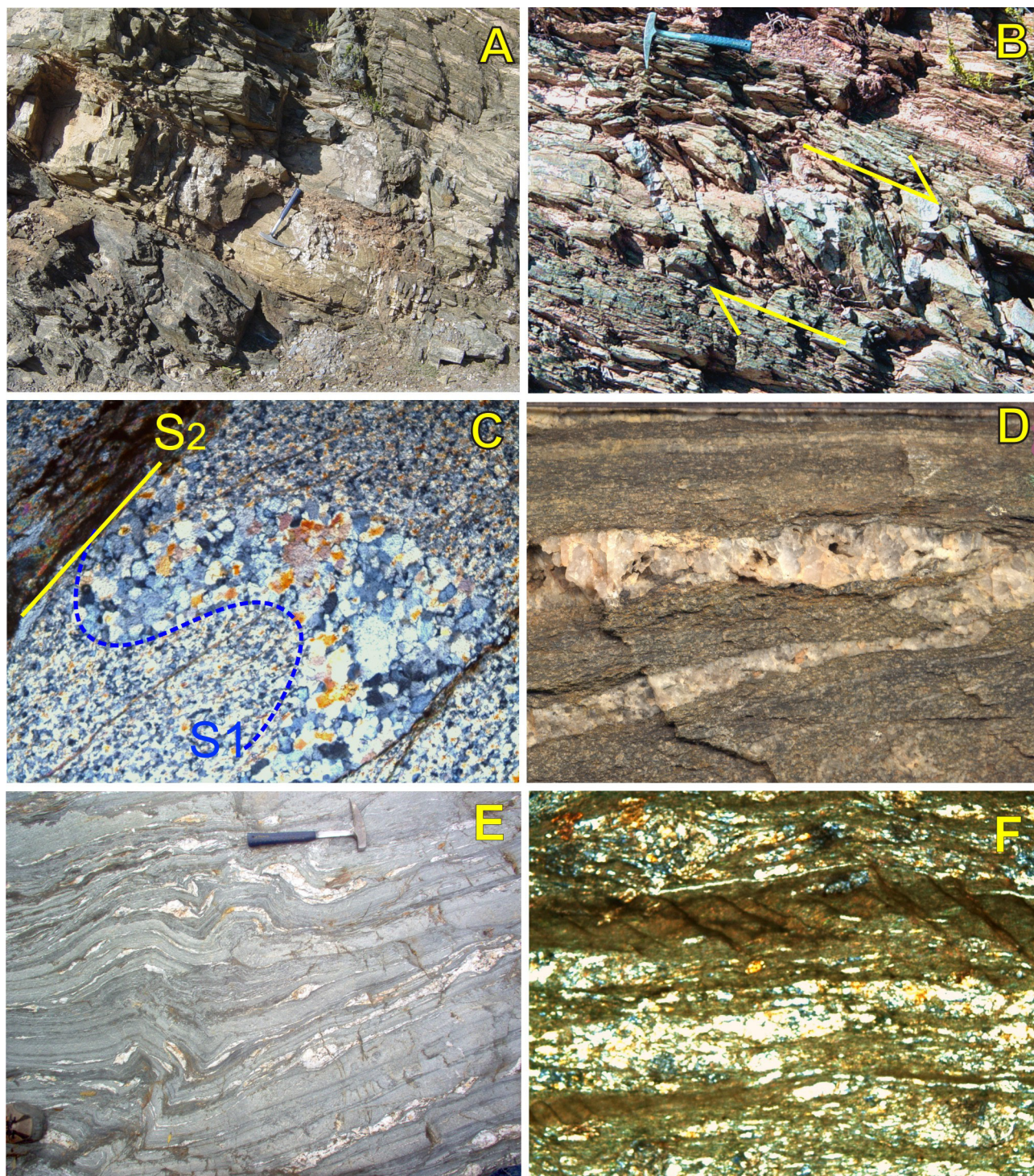


Figura 2. Aspectos diversos de la litología y la deformación del Esquisto Granjeno, en afloramientos de las diferentes localidades y al microscopio: (A) Afloramiento de esquistos sobre la carretera La Escondida-Aramberri. Se observa a las superficies S_2 subparalelas a un banco de cuarcita de más de 40 cm de espesor que permite reconocer claramente la estratificación original S_0 . (B) Vetas *en échelon* que muestran una cizalla consecuente con deslizamientos paralelos a las superficies de foliación sobre las que se observan, en este afloramiento del área de Aramberri, estrías que indican un movimiento en el mismo sentido. (C) En el microscopio (nicoles cruzados) se observa la ocurrencia de bandas de cuarzo en una muestra procedente del área de Bustamante, que permiten reconocer plegamientos isoclinales de las superficies S_1 , en este caso cortadas por superficies S_2 (ancho de la fotografía: 2.5 mm). (D) Detalle de las bandas de cuarzo alojadas en superficies S_1 en una muestra procedente del Cañón de Caballeros. Estas bandas son plegadas de manera isoclinal, por lo que en muchos de los casos son subparalelas a las superficies de foliación S_2 (ancho de la foto: 12 cm). (E) Afloramiento del cañón de Caballeros, en donde se observa una serie de capas delgadas de esquisto psamítico alternando con esquisto pelítico. Se observan también bandas de cuarzo blanco a lo largo de las superficies S_1 (producto de la deformación D_1) y afectadas por la deformación D_2 . (F) Detalle al microscopio (nicoles cruzados; ancho de la fotografía: 2.5 mm) de la foliación S_2 (horizontal), con estructuras plegadas de las superficies S_1 y bandas de cuarzo de forma intrafolial. Exclusivamente en los horizontes pelíticos se observan superficies S_3 o superficies de cizalla (C).

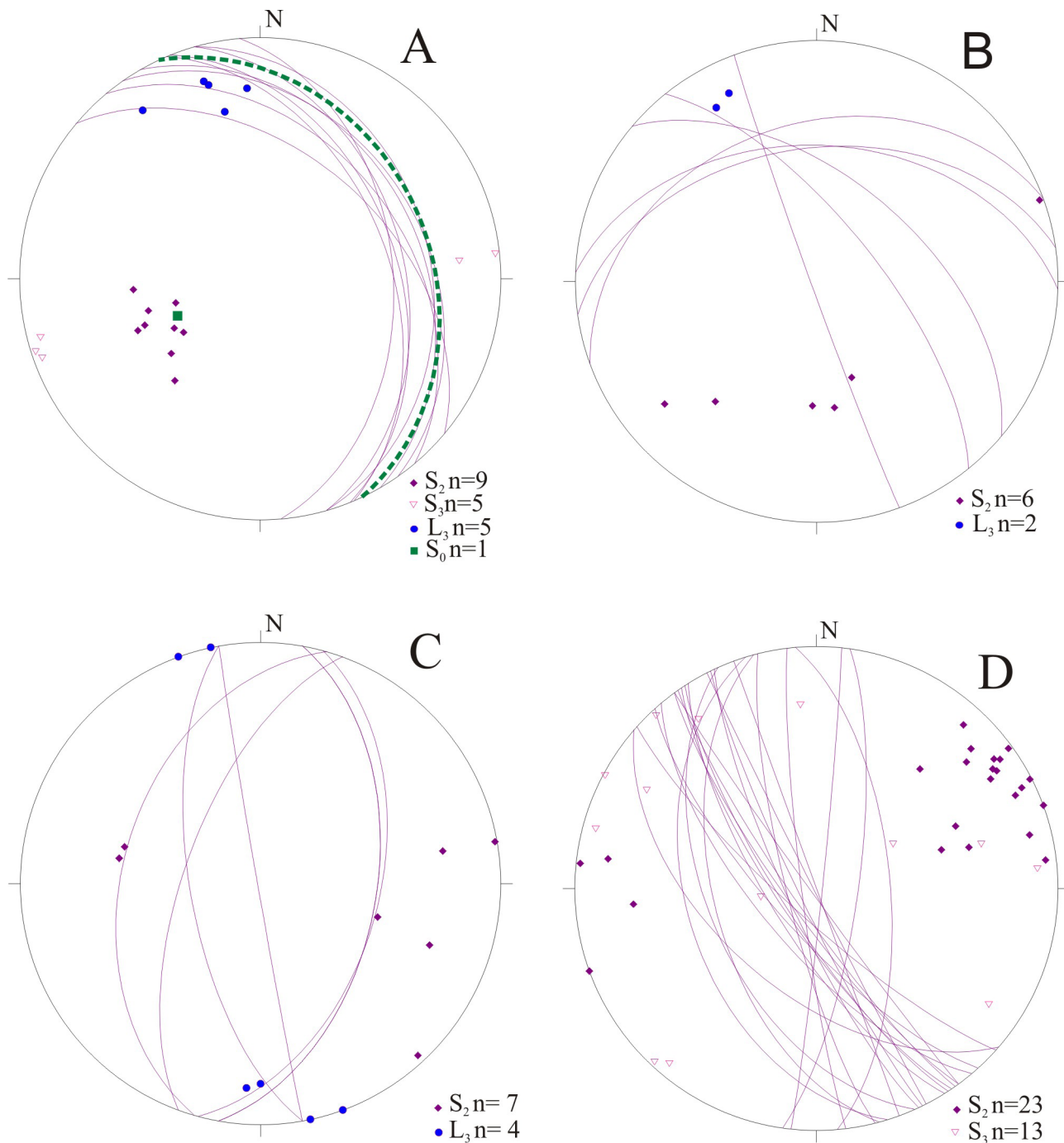


Figura 3. Proyecciones estereográficas equiareales (hemisferio inferior) de superficies de foliación y otros elementos estructurales, ilustrando el estilo de la deformación del Esquisto Granjeno en afloramientos de las diferentes localidades. (A) Afloramientos de los esquistos sobre la carretera La Escondida-Aramberri, en donde se observan localmente las superficies S_2 , subparalelas a un banco de cuarcita de más de 40 cm de espesor. Éstas permiten reconocer claramente la estratificación original S_0 . Las superficies S_2 muestran un plegamiento isoclinal y su rumbo general es NNW, con lineares L_3 por crenulación sobre estos planos, que muestran un buzamiento moderado hacia el NW. Las superficies S_3 son subverticales y con orientación NNW. (B) Afloramientos del área de Miquihuana que muestran una orientación preferencial NE de lo que parece corresponder a S_2 , siendo éstas las únicas superficies medidas. Se observa plegamiento de algunas de estas superficies y lineación por crenulación L_3 , que es consistente con la deformación de las superficies S_2 , mostrando ambas inmersión de ejes de pliegues de S_2 hacia el NW. (C) En la localidad de Bustamante, Tamaulipas, las superficies S_2 muestran un rumbo general N-S, y son de manera general consistentes con lineares L_3 subhorizontales y de orientación preferencial N-NW. (D) En los esquistos del cañón de Caballeros se observan superficies S_2 y S_3 . Las superficies S_2 muestran una orientación preferencial noroeste y echados pronunciados y sus polos permiten reconocer de forma aproximada un círculo π de orientación suroeste-noreste, en tanto que los polos de las superficies S_3 se observan más dispersos como consecuencia de un desarrollo incipiente de este tipo de superficies en el campo.

foliación, las lineaciones por crenulación resultado de la intersección de las superficies S_1 y S_2 (L_2) así como las superficies ya mencionadas S_3/S_2 de tipo crucero (L_3).

Dowe *et al.* (2005) describieron, en los afloramientos del cañón del Novillo, superficies S_2 relacionadas a una deformación D_2 , misma que subdividieron en D_{2a} , D_{2b} y D_{2c} , como eventos subsecuentes de una misma deformación progresiva. Cabe aclarar que en nuestra interpretación ninguna de estas deformaciones equivaldría al evento D_3 ya que, al parecer, los autores mencionados no consideraron en su análisis el tercer evento de deformación aquí descrito, probablemente por tratarse de una deformación poco intensa y de carácter semifrágil. Por esta razón, en este estudio ello se ha interpretado como un posible efecto de la fase laramídica, que en la zona causó el plegamiento de la cubierta sedimentaria del Jurásico Superior y Cretácico, y afectó al basamento metamórfico precámbrico-paleozoico sólo de manera incipiente.

En el Anticlinorio Huizachal-Peregrina (Figura 1), el Esquisto Granjeno se presenta en contacto tectónico por falla con gneises del Mesoproterozoico, conocidos como Gneis Novillo (Fries y Rincón-Orta, 1965). Sin embargo, en el cañón del Novillo, a lo largo de esa falla que presenta

una componente lateral derecha, se emplazó un cuerpo de leucogranito o plagiogranito de edad carbonífera (354 ± 54 Ma, método U-Pb en circón; Dowe *et al.*, 2005). Este cuerpo granítico no fue afectado por el metamorfismo en facies de esquistos verdes, pero sí por posteriores eventos cataclásticos. De acuerdo a Dowe (2004), S_1 estaría directamente relacionada a una fase temprana del cierre oceánico y obducción ofiolítica previos al emplazamiento del plagiogranito, mientras que S_2 se asociaría a movimientos dextrales con orientación NNW-SSE. S_3 se generaría por el mecanismo de exhumación regional. Puntualmente, sobre los gneises precámbricos descansan rocas sedimentarias no metamorizadas que forman una columna incompleta y deformada del Silúrico al Pérmico (Carrillo-Bravo, 1961; Gursky, 1994; Stewart *et al.*, 1999; Figura 4). En particular, la base de esta sucesión sedimentaria tiene una afinidad gondwánica correlacionable con unidades aflorantes en Venezuela (Stewart *et al.*, 1999). La relación más plausible entre el esquisto y todas estas rocas precámbricas y paleozoicas es tectónica. Esta relación se estableció posteriormente al evento metamórfico del esquisto, así como también es posterior al depósito de turbiditas del Carbonífero-Pérmico contenidas en la parte superior de

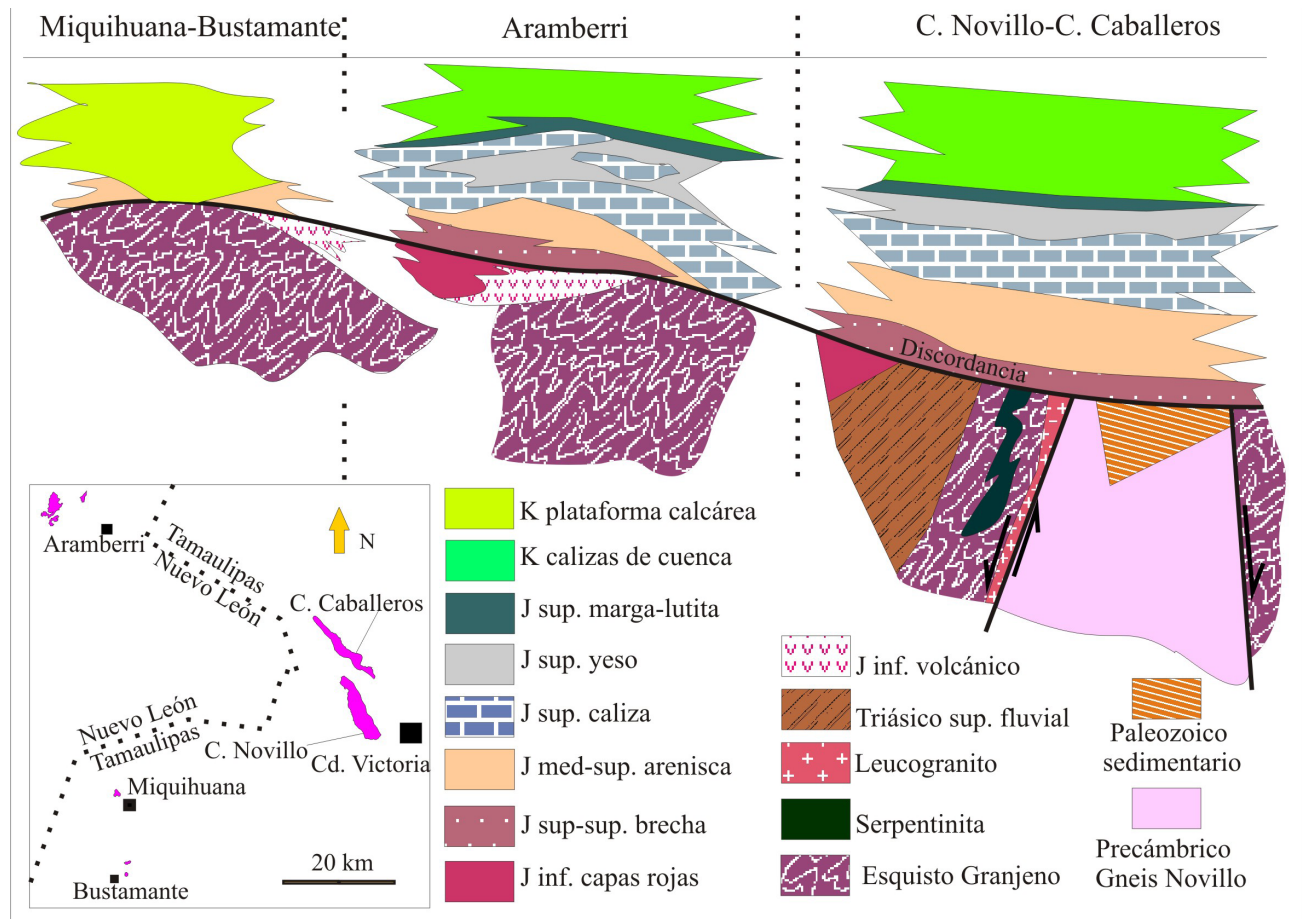


Figura 4. Esquema que muestra las diversas relaciones estratigráficas del Esquisto Granjeno con unidades litológicas precámbricas, paleozoicas y mesozoicas en las diferentes localidades descritas en el presente estudio.

la secuencia paleozoica no metamorfizada. Esto explica la similitud de la edad del metamorfismo de los esquistos con la de los sedimentos clásticos no metamorfizados. La relación por falla normal, y posiblemente con desplazamiento lateral, que se observa entre el esquisto y el gneis, así como entre el esquisto y los sedimentos paleozoicos no metamorfizados, es el resultado de fallamiento posterior, probablemente asociado a un pulso de deformación en conexión con la última etapa de formación de Pangea, en el Paleozoico Superior. En los afloramientos del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, el Esquisto Granjeno subyace en discordancia angular a capas rojas del Triásico Superior (Figura 4).

3. Métodos analíticos

En el presente trabajo se reportan datos U-Pb de circones detríticos para las tres muestras de esquistos colectadas, como se ha descrito, en las áreas de Aramberri en Nuevo León y de Miquihuana y el cañón de Caballeros en Tamaulipas. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio Arizona LaserChron Center (Universidad de Arizona, Tucson), separando inicialmente un promedio de 100 circones por cada muestra de aproximadamente 10 a 12 kg. En general, para la preparación se siguió el procedimiento indicado por Gehrels *et al.* (2006), que incluye la trituración y molienda de las muestras para posteriormente separar la fracción pesada en una mesa Wilfley, seguida de una separación magnética y, finalmente, una separación por medio de líquidos pesados. El montaje de las muestras y estándares se realizó manualmente en resina, procediendo a un desbaste y pulido de los granos de circón para exponer su parte media. Los análisis fueron realizados por la técnica de espectrometría de masas con plasma inducido acoplada con un multicolector (*multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry*) con ablación láser (LA-MC-ICP-MS). Este análisis incorpora la técnica de ablación láser del circón con un equipo New Wave/Lambda Physic DUV193 Excimer laser (operado con una longitud de onda de 193 nm) y usando un diámetro de ablación de 25 μm . La técnica de LA-MC-ICP-MS es particularmente apropiada para el estudio de circones detríticos por la rápida generación de un gran número de análisis, lo cual ha permitido la obtención de un promedio de 100 análisis de circón por cada muestra.

La determinación de las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ presenta desviaciones en la medición del orden de $\sim 1\text{-}2\%$ para las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (en el nivel 2σ). Las desviaciones en la medición de $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ y $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ también resultan en una incertidumbre en la edad de $\sim 1\text{-}2\%$ (en el nivel 2σ) para granos con una edad mayor a 1.0 Ga, pero son considerablemente mayores en circones más jóvenes debido a la baja intensidad de la señal de ^{207}Pb . En la mayoría de los casos, el punto de inversión de esta relación en la precisión de las edades de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ocurre a los 0.8-1.0 Ga.

Los resultados han sido graficados en diagramas de

concordia tipo Wetherill, en donde aparece el total de granos analizados (Figura 5). Los mismos datos se han representado en diagramas de probabilidad relativa (Ludwig, 2003), mostrando las diferentes edades y su incertidumbre (únicamente para desviaciones en la medición) en forma de una distribución normal para todas las edades de una muestra en una sola curva (Figura 6; Tablas 1, 2 y 3).

4. Resultados

La muestra ARM07-1, proveniente del área de Aramberri, Nuevo León, es un esquisto psamítico-pelítico, cuya alternancia de horizontes con abundantes cuarzos finos a medianos con los horizontes pelíticos, permite identificar la estratificación original. Al microscopio, se observa como un esquisto de clorita-moscovita-albita, con frecuentes lentes o bandas de cuarzo, con muy escasos porfidoblastos pequeños de albita. Las bandas de cuarzo de exudación aparecen también a nivel microscópico, afectadas por plegamiento isoclinal y micropliegues anisópacos intrafoliales cortados y rotados por las superficies de la foliación principal. De esta muestra se analizaron 104 circones (Tabla 1). Los resultados arrojan una edad del Cámbrico Inferior como edad máxima del depósito de la secuencia volcanoclástica que dio origen a los esquistos en esta zona. Dicha edad está dada por un pico de cerca de 530 Ma, en base a tres circones concordantes con edades de 520, 529 y 532 Ma. Con respecto a la procedencia de estos circones, ésta es principalmente grenvilliana,

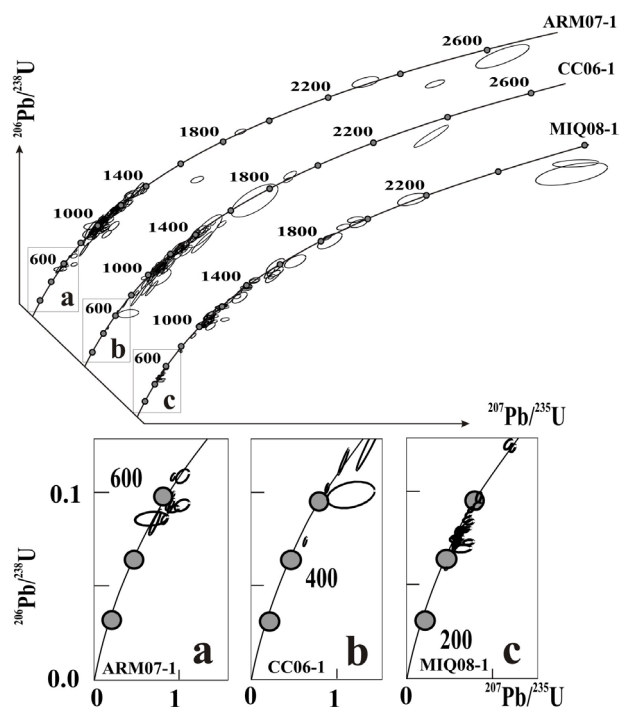


Figura 5. Diagramas de concordia tipo Wetherill para los datos U-Pb medidos en circones de las diferentes localidades del Esquisto Granjeno que se muestran en las Tablas 1, 2 y 3.

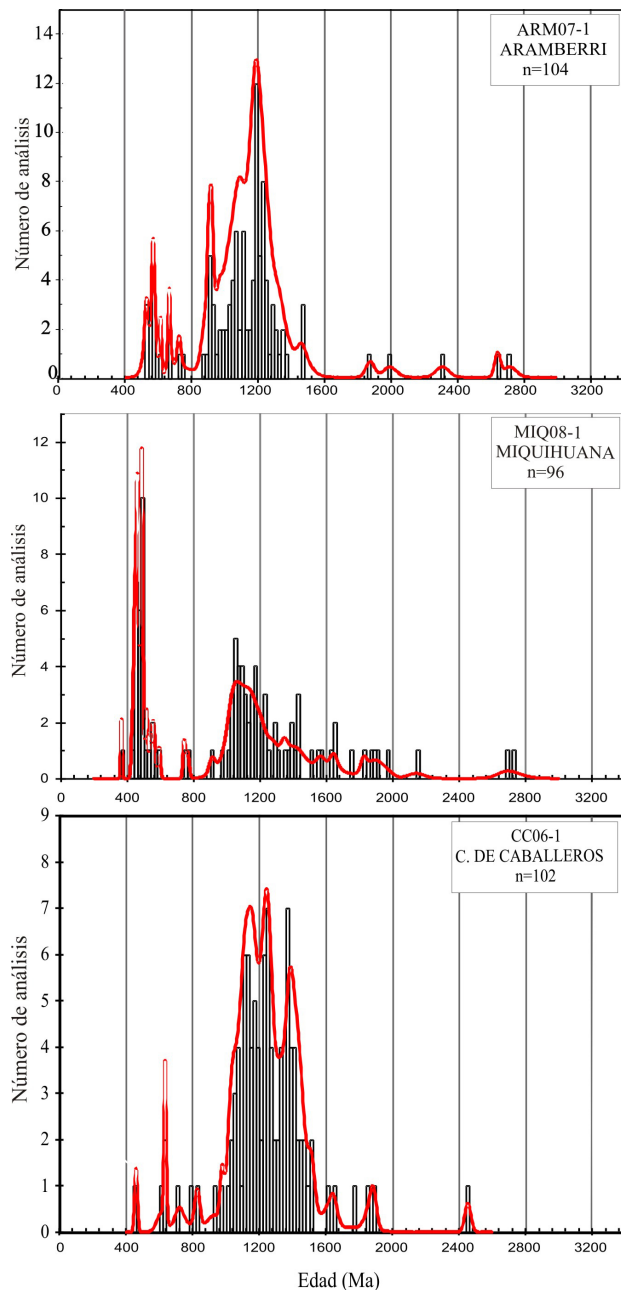


Figura 6. Diagramas de probabilidad relativa e histogramas de las edades U-Pb obtenidas en la totalidad de los circones detríticos de las muestras analizadas (Tablas 1, 2 y 3).

con un 85 % de edades que forman picos de 1193, 1102 y 920 Ma. Algunos circones aislados del Paleoproterozoico y del Arqueano son esencialmente discordantes y poco representativos. Un pico de 666.5 Ma y uno más de 569 Ma, que agruparían a los circones más jóvenes de ~530 Ma, forman hasta un 10 % de los circones medidos de edades panafricanas.

La muestra MIQ08-1 (Miquihuana, Tamaulipas) es un esquisto pelítico-psamítico de clorita-moscovita con laminación de cuarzos pequeños, alternando con las partes pelíticas, en su mayor proporción silíceas o

de materiales cloritizados. Incluye además pequeños cristales de moscovita y escasos porfidoblastos de albita de reducido tamaño. Frecuentemente se observan bandas plegadas de cuarzo alojadas en las superficies deformadas S1, pero también se pueden reconocer vetillas posteriores no deformadas. De esta muestra se analizaron 96 circones (Tabla 2), de los cuales un circón de 366.3 ± 4.2 Ma podría interpretarse como la edad máxima del depósito. Sin embargo, aunque este circón presenta un error bajo y es concordante, cierta incertidumbre prevalece por el hecho de tratarse de un cristal aislado, ya que el siguiente circón en orden ascendente de edad es uno de 432.0 ± 6 Ma. Esta información, en conjunto con otros valores entre 432 y 442 Ma, arrojan un intervalo más confiable como edad máxima del depósito. Del total de 96 circones, 51 corresponden a edades grenvillianas o, en general, asociadas con el bloque de Oaxaquia, que forman un pico moderado a los 925 Ma, en tanto que el mayor de estos tres picos ocurre a los 1079 Ma y el tercero a los 1359 Ma. Un pico aislado a los 747 Ma es formado por dos circones y, aunque estadísticamente ésta cantidad de granos es poco representativa, se podrían considerar conjuntamente con circones de 517-596 Ma (seis granos más), formando una población neoproterozoica. Los picos más prominentes están formados por 23 edades entre 450 y 485 Ma, con lo que se identifica claramente que esta muestra presenta una importante aportación de circones posiblemente asociados al magmatismo ordovícico-silúrico descrito por Miller *et al.* (2007) y asociado por los mismos autores al Complejo Acatlán del sur de México.

La muestra CC06-1, colectada en el cañón de Caballeros, es al microscopio un esquisto psamítico-pelítico de clorita-albita, con numerosos lentes y bandas de cuarzo muy deformados entre las superficies de foliación. De esta muestra se reportan 102 circones (Tabla 3). Como edad máxima del depósito se considera la de un grano, ligeramente discordante, de 458 ± 8.5 Ma, que estadísticamente no representaría un dato confiable, pero que es de manera general coincidente con edades de 433, 436 y 450 Ma, reportadas por Nance *et al.* (2007) para una muestra del Esquisto Granjeno colectada en el cañón del Novillo. Del total de circones medidos de nuestra muestra, cerca del 60 % puede asociarse con el bloque de Oaxaquia (Gneis Novillo) con edades grenvillianas formando dos picos mayores, uno a los 1150 Ma y uno más a los 1247 Ma, además de un pequeño pico asociado de 975 Ma. El tercer pico en importancia en la muestra ocurre a los 1390 Ma y está formado por 29 circones, aunque abarca en realidad un período muy amplio de tiempo con edades entre los 1300 y 1500 Ma, correspondiendo 15 de estas edades sólo al intervalo de 1360 a 1420 Ma. Este pico constituye también una diferencia notable entre esta muestra y las procedentes de las otras localidades, ya que se observa sólo de manera muy subordinada en las otras muestras analizadas, así como en los datos publicados por Nance *et al.* (2007) para la muestra colectada por estos autores en el cañón del Novillo.

Tabla 1. Análisis geocronológico U-Pb (circón) de la muestra ARM07-1, procedente de Aramberri, Nuevo León (coordenadas: 24°06.26'N, 99°53.76'W, datum WGS84).

Muestra ARM07-1		Relaciones isotópicas						Edades aparentes (Ma)								
Análisis	U (ppm)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	U/Th	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	\pm	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	\pm	error	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	\pm	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	\pm	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	\pm	Mejor edad	\pm
				(%)	(%)	(%)	(%)	corr.	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)
1	217	6989	1.4	0.71195	5.8	0.08414	5.3	0.92	520.8	26.7	545.9	24.5	652.2	49.7	520.8	26.7
2	257	10995	1.1	0.71096	3.6	0.08565	2.2	0.55	529.7	10.2	545.3	15.2	610.9	64.7	529.7	10.2
3	217	1175	2.5	0.67374	16.9	0.08604	3.1	0.18	532.1	15.6	523	69.3	483.3	370	532.1	15.6
4	121	7343	0.8	0.81911	5.1	0.09145	1.8	0.36	564.1	9.8	607.6	23.3	773	100.5	564.1	9.8
5	570	23432	2.1	0.75957	2.6	0.09233	1.5	0.55	569.3	8	573.8	11.6	591.4	47.8	569.3	8
6	183	12136	2.8	0.81999	3.4	0.09328	2.9	0.84	574.9	15.8	608	15.7	733.5	39.4	574.9	15.8
7	52	5672	0.7	1.02773	5.3	0.09392	2	0.38	578.7	11.2	717.8	27.3	1181.1	97	578.7	11.2
8	317	19693	1.1	0.82427	2	0.09988	1.2	0.57	614.3	6.8	610.4	9.4	596	36.4	614.3	6.8
9	374	26609	2.8	0.92277	1.6	0.1089	1	0.61	666.4	6.3	663.8	8	655.2	28	666.4	6.3
10	81	8844	0.9	1.04252	5.6	0.10935	2.6	0.47	669	16.8	725.2	29.1	903.1	102	669	16.8
11	295	26840	2.1	1.07135	2.2	0.1192	1.8	0.82	726	12.3	739.4	11.4	780.3	26.1	726	12.3
12	457	7398	3.1	1.30293	6.7	0.12198	6.5	0.97	742	45.8	847	38.6	1133.3	30.3	742	45.8
13	66	1911	1.4	1.50509	5.6	0.14498	2.3	0.42	872.8	19	932.5	33.9	1076.3	101.4	872.8	19
14	238	7653	4.6	1.52233	10.1	0.1487	9	0.9	893.7	75.3	939.8	61.8	1049.5	90	893.7	75.3
15	185	18506	3.8	1.50071	2.6	0.15076	1.3	0.49	905.2	10.7	930.7	15.9	991.4	46.4	905.2	10.7
16	45	408	2	1.46486	9.1	0.15077	3.7	0.41	905.3	31.5	916	55.2	942	171.2	905.3	31.5
17	112	25141	2.1	1.53811	2.3	0.15106	1.2	0.51	906.9	9.8	945.7	14	1037.3	39.4	906.9	9.8
18	122	15609	2.6	1.49983	3.6	0.15122	2.9	0.8	907.8	24.3	930.3	22	984	44.3	907.8	24.3
19	61	4112	1.8	1.54619	4	0.1518	3	0.75	911.1	25.6	949	24.7	1038	53.4	911.1	25.6
20	216	13803	2.3	1.49346	2.2	0.15392	1	0.46	922.9	8.6	927.7	13.2	939.3	39.4	922.9	8.6
21	669	27104	11.8	1.54726	2.5	0.15424	1.3	0.53	924.7	11.5	949.4	15.4	1007.1	42.9	924.7	11.5
22	150	10674	5	1.59787	3.1	0.15447	2.5	0.8	926	21.4	969.4	19.5	1069.1	38	926	21.4
23	664	19390	2.9	1.48388	7.9	0.1573	6.9	0.87	941.7	60.2	923.8	48.1	881.2	82	941.7	60.2
24	202	19352	2.5	1.61788	2.7	0.1617	1.7	0.65	966.2	15.5	977.2	16.7	1001.8	41.1	966.2	15.5
25	50	1179	1.2	1.61225	13.6	0.16413	3.1	0.23	979.7	28	975	85.2	964.3	270.7	979.7	28
26	362	17981	2.4	1.61035	8.5	0.1644	8.2	0.96	981.2	74.5	974.2	53.6	958.7	49.7	981.2	74.5
27	445	57004	16.5	1.6849	3.1	0.16911	2.8	0.89	1007.2	25.7	1002.8	19.7	993.3	28.5	993.3	28.5
28	152	8118	2.4	1.79727	3.5	0.1785	1.5	0.43	1058.8	15	1044.5	23.1	1014.6	64.6	1014.6	64.6
29	298	40980	9.1	1.68101	2.1	0.16663	1.6	0.73	993.5	14.4	1001.4	13.6	1018.6	29.5	993.5	14.4
30	298	23461	1.8	1.7191	4.8	0.16984	2.1	0.43	1011.2	19.2	1015.7	30.6	1025.3	86.9	1025.3	86.9
31	346	40252	4.2	1.72701	1.9	0.17033	1.2	0.63	1013.9	11.2	1018.6	12.2	1028.7	29.8	1028.7	29.8
32	259	38965	2.2	1.80553	2.7	0.17752	1.3	0.49	1053.3	13	1047.5	17.8	1035.1	47.9	1035.1	47.9
33	155	53808	2.1	1.70889	2.8	0.16732	1.6	0.59	997.3	15.2	1011.9	17.9	1043.4	45.8	1043.4	45.8
34	136	9305	1.9	1.80917	3.6	0.17701	1.9	0.52	1050.6	18.1	1048.8	23.4	1044.9	61.7	1044.9	61.7
35	162	11107	5.5	1.77931	2.2	0.17386	1.5	0.66	1033.4	14.1	1037.9	14.6	1047.5	34.1	1047.5	34.1
36	302	80604	2.4	1.77299	2.2	0.17283	1.1	0.54	1027.7	10.5	1035.6	13.3	1052.4	34.5	1052.4	34.5
37	150	30576	2.9	1.68184	2.9	0.16332	1.6	0.54	975.2	14.3	1001.7	18.7	1060	49.6	1060	49.6
38	240	31451	2.7	1.63301	5	0.15803	4.3	0.84	945.8	37.5	983	31.8	1067	54.4	1067	54.4
39	62	4058	2	1.67945	3.1	0.16223	1.9	0.62	969.1	17.4	1000.8	19.9	1070.7	49.5	1070.7	49.5
40	105	16976	4	1.74618	1.7	0.1684	1	0.59	1003.3	9.3	1025.8	10.9	1073.9	27.5	1073.9	27.5
41	116	10509	2	1.83595	2.2	0.17705	1.1	0.52	1050.9	11	1058.4	14.3	1074	37.2	1074	37.2
42	108	14499	1.9	1.65496	5.9	0.15924	2.1	0.36	952.5	18.9	991.5	37.6	1078.6	111.2	1078.6	111.2
43	114	32392	4.6	1.69771	2.3	0.16281	1.7	0.76	972.4	15.5	1007.7	14.4	1085.3	29.6	1085.3	29.6
44	171	22935	1.5	1.83831	1.7	0.17624	1.2	0.67	1046.4	11.4	1059.3	11.5	1085.9	25.8	1085.9	25.8
45	663	65781	3.9	2.01685	3.2	0.19169	2.8	0.88	1130.5	29.4	1121.2	21.9	1103.2	30.6	1103.2	30.6
46	140	15672	2.8	1.74827	1.8	0.16614	1	0.54	990.8	9.2	1026.5	11.9	1103.4	31.1	1103.4	31.1
47	489	36495	3.2	1.95412	3.8	0.18555	3.2	0.85	1097.2	32.5	1099.9	25.6	1105.1	40.6	1105.1	40.6
48	71	6755	1.1	1.69658	3.1	0.16072	2.1	0.68	960.8	19.2	1007.2	20.1	1109.7	45.9	1109.7	45.9
49	70	8182	2.9	1.89679	4	0.17937	2.9	0.71	1063.5	28.2	1080	26.7	1113.3	56.1	1113.3	56.1
50	115	3556	1.6	1.90725	3.5	0.17983	1.7	0.49	1066.1	17	1083.6	23.5	1119.1	61.4	1119.1	61.4
51	85	13452	2.3	1.77487	2.3	0.16727	1.7	0.71	997	15.3	1036.3	15.1	1120.1	32.4	1120.1	32.4
52	92	9139	1.9	1.8444	2.3	0.17284	1.5	0.66	1027.7	14.3	1061.4	15.2	1131.4	34.6	1131.4	34.6
53	76	7820	2.3	1.85591	2.2	0.17307	1	0.45	1029	9.5	1065.5	14.6	1141.1	39.3	1141.1	39.3
54	65	6506	2.2	1.80871	3	0.16709	2	0.66	996.1	18.3	1048.6	19.5	1159.7	44.2	1159.7	44.2
55	139	25863	3.2	2.0662	1.8	0.19058	1	0.57	1124.5	10.3	1137.7	12	1162.9	28.6	1162.9	28.6
56	146	14984	0.7	1.82573	3.5	0.1682	2.5	0.72	1002.2	23.5	1054.7	22.9	1165.1	47.6	1165.1	47.6
57	137	10442	2.4	2.1309	2.6	0.19531	1.2	0.48	1150.1	12.9	1158.9	17.8	1175.4	44.7	1175.4	44.7
58	400	56888	4.1	2.19059	2	0.20068	1.3	0.66	1179	14	1178.1	13.8	1176.3	29.4	1176.3	29.4
59	50	4077	3.2	1.76994	2.5	0.16183	1.3	0.52	966.9	11.8	1034.5	16.4	1180.2	42.8	1180.2	42.8
60	364	35817	2.9	2.16865	1.9	0.19819	1.3	0.67	1165.6	13.4	1171	13.1	1181.2	27.8	1181.2	27.8
61	249	34842	3.8	2.18616	2.2	0.19975	1.4	0.66	1174	15.5	1176.6	15.3	1181.5	32.7	1181.5	32.7
62	238	48726	2.1	2.05391	3.3	0.18753	2.8	0.85	1108	28.9	1133.6	22.7	1183	34.4	1183	34.4
63	215	19886	2.5	2.22552	1.8	0.20317	1	0.55	1192.3	10.9	1189.1	12.6	1183.3	29.7	1183.3	29.7
64	296	52609	2.1	2.20282	1.4	0.20099	1	0.71	1180.6	10.8	1181.9	9.9	1184.3	19.8	1184.3	19.8
65	194	54303	2.8	2.25936	1.9	0.20588	1	0.51	1206.8	11	1199.7	13.7	1186.9	32.9	1186.9	32.9
66	117	14455	3.7	1.86431	2.8	0.16982	2.5	0.88	1011.1	23.4	1068.5	18.8	1187.6	26.7	1187.6	26.7
67	199	11190	4.4	2.04928	4.5	0.18653	3.9	0.87	1102.6	39.6	1132.1	30.7	1189	43.7	1189	43.7
68	305	11129	2.5	1.61675	4	0.14691	3.5	0.86	883.6	28.5	976.7	25.2	1192.4	40.5	1192.4	40.5
69	384	35240	6.8	2.09994	1.9	0.19077	1	0.52	1125.5	10.3	1148.8	13.2	1192.9	32.2	1192.9	32.2
70	50	6116	0.8	1.86094	2.9	0.16856	1.2	0.43	1004.2	11.5	1067.3	19.1	1198.7	51.4	1198.7	51.4
71	135	19319	2.9	2.18424	2.1	0.19766	1	0.48	1162.7	10.7	1176	14.5	1200.5	36	1200.5	36
72	200	35644	2.1	2.212	2	0.19909	1.5	0.72	1170.4	15.7	1184.8	17	1211.3	27.7	1211.3	27.7
73	330	29220														

Tabla 2. Análisis geocronológico U-Pb (circón) de la muestra MIQ08-1, procedente de Miquihuana, Tamaulipas (coordenadas: 23°35.65'N, 99°45.6'W, datum WGS84).

Muestra MIQ08-1	Relaciones isotópicas										Edades aparentes (Ma)					
	U	²⁰⁶ Pb	U/Th	²⁰⁷ Pb*	±	²⁰⁶ Pb*	±	error	²⁰⁶ Pb*	±	²⁰⁷ Pb*	±	²⁰⁶ Pb*	±	Mejor edad	±
	(ppm)	²⁰⁴ Pb		²³⁵ U	(%)	²³⁸ U	(%)	corr.	²³⁵ U	(Ma)	²³⁵ U	(Ma)	²³⁵ U	(Ma)	(Ma)	(Ma)
1	819	26418	2	0.4462	1.7	0.0585	1.2	0.68	366.3	4.2	374.6	5.5	426.3	28.4	366.3	4.2
2	75	1776	1.9	0.6208	10.6	0.0693	1.4	0.14	432	6	490.3	41.1	773.1	220.8	432	6
3	146	9039	2.7	0.5478	3.7	0.0707	2.5	0.66	440.6	10.5	443.6	13.4	459.2	62.1	440.6	10.5
4	296	9567	2.2	0.5662	2.5	0.071	1	0.4	442.4	4.3	455.6	9.2	522.6	50.7	442.4	4.3
5	656	24579	2.4	0.5672	4.5	0.0719	1.2	0.27	447.4	5.2	456.2	16.7	500.9	96.3	447.4	5.2
6	237	10266	1.6	0.5677	3.6	0.0724	1.9	0.52	450.5	8.1	456.5	13.3	487.2	68.2	450.5	8.1
7	383	3210	1	0.6916	5.9	0.0729	1.3	0.22	453.4	5.6	533.8	24.6	894.2	119.7	453.4	5.6
8	613	22149	0.7	0.5704	1.6	0.0732	1.2	0.77	455.2	5.3	458.3	5.8	473.9	22.2	455.2	5.3
9	409	9528	14.4	0.5974	2.8	0.0736	1.7	0.59	458.1	7.4	475.6	10.7	560.8	49.6	458.1	7.4
10	562	24531	5.3	0.5888	3.4	0.0744	1.7	0.5	462.9	7.6	470.1	12.8	505.3	64.9	462.9	7.6
11	538	17370	2.8	0.586	1.7	0.0745	1	0.6	463.1	4.5	468.3	6.2	493.9	29.1	463.1	4.5
12	89	6717	0.5	0.5734	7.4	0.0745	2	0.27	463.4	8.9	460.2	27.3	444.7	158.3	463.4	8.9
13	179	12294	1.7	0.5767	4.5	0.0746	1.2	0.27	463.5	5.4	462.3	16.6	456.2	95.7	463.5	5.4
14	613	28407	2.1	0.5912	2.3	0.0748	1	0.43	464.7	4.5	471.6	8.7	505.2	45.6	464.7	4.5
15	173	7140	1	0.5815	2.5	0.0757	1.5	0.59	470.5	6.6	465.4	9.1	440.3	44	470.5	6.6
16	556	33039	2.9	0.6143	2.4	0.0776	1.7	0.72	481.6	8.1	486.2	9.3	508.4	36.4	481.6	8.1
17	603	19410	2.3	0.6238	2.7	0.0779	1.2	0.46	483.6	5.8	492.2	10.4	532.7	51.7	483.6	5.8
18	163	9660	1.4	0.6222	2.5	0.0779	1.1	0.45	483.7	5.3	491.2	9.9	526.6	49.9	483.7	5.3
19	139	7830	1.8	0.5917	3.7	0.0783	1.6	0.43	488.8	7.5	471.9	14	404.9	74.9	488.8	7.5
20	431	20637	1.5	0.6109	3.1	0.0786	1	0.32	487.8	4.7	484.1	11.9	466.4	64.7	487.8	4.7
21	818	48225	2.7	0.6231	2	0.0789	1.2	0.61	489.8	5.6	491.8	7.7	501.2	34.4	489.8	5.6
22	320	16518	2.1	0.6207	3.4	0.079	1.3	0.39	490.3	6.2	490.3	13.3	490.3	69.6	490.3	6.2
23	408	17010	1.4	0.6729	3	0.0794	1	0.33	492.4	4.7	522.5	12.4	656.4	61.4	492.4	4.7
24	187	7686	1.5	0.6408	2.7	0.0798	1.9	0.69	494.9	9	502.8	10.9	538.9	43.6	494.9	9
25	287	6543	1.3	0.6746	4.4	0.0799	1	0.23	495.5	4.8	523.5	17.9	647.7	91.5	495.5	4.8
26	178	5292	3	0.7191	3.3	0.0831	1.3	0.38	514.7	6.3	550.2	14	699.7	65	514.7	6.3
27	252	12540	2.1	0.6852	3.1	0.0842	1.4	0.44	521.3	6.8	529.9	12.7	567.3	60.1	521.3	6.8
28	590	17718	2.4	0.6993	2.5	0.0874	1.1	0.43	540.1	5.7	538.3	10.6	530.9	50.4	540.1	5.7
29	648	33198	1.4	0.7215	1.7	0.09	1	0.58	555.3	5.3	551.5	7.3	536.2	30.7	555.3	5.3
30	214	5382	1.2	0.7928	4.3	0.0919	1.2	0.28	566.7	6.5	592.8	19.2	693.7	87.4	566.7	6.5
31	109	6732	0.9	0.8054	3	0.0965	1.4	0.48	593.6	8.1	599.8	13.4	623.4	55.8	593.6	8.1
32	474	26535	1.9	1.1848	1.7	0.1224	1	0.59	744.4	7	793.6	9.4	934.3	28.3	744.4	7
33	826	52986	1.6	1.1298	2.2	0.126	1.3	0.59	765.1	9.5	767.7	12	775.1	37.9	765.1	9.5
34	183	11805	2.2	1.5111	2.6	0.1522	2.1	0.8	913.1	17.5	934.9	15.8	986.5	31.7	913.1	17.5
35	68	9810	2.7	1.69	4.5	0.1711	2.2	0.5	1018.3	20.8	1004.7	28.4	975.3	78.9	975.3	20.8
36	219	28386	3	1.6913	3.7	0.1679	1.5	0.41	1000.7	14	1005.2	23.5	1015.1	68.1	1015.1	14
37	134	20532	2.6	1.7145	1.9	0.1693	1.2	0.64	1008.1	11.5	1014	12.3	1026.7	30	1026.7	11.5
38	362	23424	3.7	1.7392	3.5	0.1715	1	0.28	1020.6	9.4	1023.2	22.9	1027.8	68.8	1027.8	9.4
39	246	34932	2.9	1.8003	1.9	0.1774	1.4	0.73	1053	13.2	1045.6	12.2	1030	26.1	1030	13.2
40	366	46422	2.4	1.7544	2.2	0.1719	1	0.46	1022.3	9.5	1028.8	14.2	1042.5	39.4	1042.5	9.5
41	173	18822	1.8	1.8813	3.4	0.1842	1.7	0.5	1089.6	16.8	1074.5	22.3	1043.9	58.7	1043.9	16.8
42	265	38130	2.5	1.8395	2.1	0.18	1	0.48	1067.1	9.8	1059.7	13.7	1044.3	36.7	1044.3	9.8
43	508	18066	6.6	1.71	1.9	0.1665	1	0.53	992.7	9.2	1012.3	12.1	1054.8	32.2	1054.8	9.2
44	250	29727	3.8	1.9038	1.8	0.1851	1	0.56	1094.9	10.1	1082.4	11.9	1057.3	29.8	1057.3	10.1
45	161	16107	1.6	1.7915	4.3	0.1739	1.2	0.27	1033.8	11.2	1042.4	28.3	1060.4	106.0	1060.4	11.2
46	119	12906	2.1	1.9451	4.5	0.1881	2.7	0.59	1110.9	27.2	1096.8	30.5	1068.8	73.8	1068.8	27.2
47	76	8601	2.2	1.8114	3.7	0.1751	2.4	0.66	1040.2	23.3	1049.6	24	1069.2	55.4	1069.2	23.3
48	561	41079	0.7	1.9647	3.4	0.189	1.6	0.48	1115.9	16.7	1103.5	22.9	1079.1	60	1079.1	16.7
49	145	17352	5.5	1.9107	2	0.1832	1	0.49	1084.5	10	1084.8	13.6	1085.5	35.7	1085.5	10
50	70	13320	2	1.9502	3.2	0.1869	1.1	0.33	1104.7	10.9	1098.5	21.8	1086.2	61.4	1086.2	10.9
51	246	13812	1.2	1.9241	4.5	0.1843	1.7	0.37	1090.5	16.9	1089.5	30.1	1087.5	83.7	1087.5	16.9
52	161	20118	1.6	1.8116	2.7	0.1725	1.9	0.71	1026.1	17.9	1049.7	17.5	1098.9	37.9	1098.9	17.9
53	56	10953	5.2	1.8905	4	0.1798	1.6	0.39	1066.1	15.6	1077.7	26.8	1101.4	74	1101.4	15.6
54	284	33579	2.7	1.8286	2	0.1738	1.2	0.62	1032.7	11.6	1055.8	13	1103.7	31	1103.7	11.6
55	331	19545	2	1.9758	3	0.1865	1	0.33	1102.6	10.1	1107.3	20.5	1116.5	57.3	1116.5	10.1
56	249	25041	1.2	2.0076	2.1	0.1886	1	0.47	1113.5	10.2	1118.1	14.3	1126.9	37.1	1126.9	10.2
57	204	12195	1.7	1.9146	5	0.1793	1.5	0.3	1063.2	14.9	1086.2	33.4	1132.6	94.9	1132.6	14.9
58	264	33216	2.5	1.857	3.9	0.173	3.1	0.79	1028.5	29	1065.9	25.6	1143.3	47.7	1143.3	29
59	236	35148	3.2	2.0043	2	0.1866	1.1	0.55	1102.9	11.5	1117	13.8	1144.4	33.8	1144.4	11.5
60	598	91686	3	2.1857	2.5	0.2022	1.9	0.74	1186.9	20.3	1176.5	17.6	1157.4	33.7	1157.4	20.3
61	121	13689	2.2	2.0351	2.9	0.1879	2.5	0.87	1110	25.3	1127.3	19.5	1160.8	28.5	1160.8	25.3
62	170	9204	1.4	1.9282	4.4	0.178	3.4	0.78	1056.2	33.5	1090.9	29.5	1160.8	54.8	1160.8	33.5
63	85	10170	2.6	2.1709	2.2	0.2	1.1	0.49	1175.3	11.4	1171.8	15.1	1165.2	37.5	1165.2	11.4
64	87	11859	2.7	2.1453	3.2	0.1972	1.6	0.49	1160.2	16.5	1163.5	21.9	1169.7	54.6	1169.7	16.5
65	311	31920	4.2	2.2491	1.5	0.2029	1	0.66	1190.8	10.9	1196.5	10.6	1206.9	22.3	1206.9	10.9
66	80	11955	2.6	2.3018	3.5	0.2065	1	0.29	1210.2	11.5	1212.9	25.1	1217.5	66.6	1217.5	11.5
67	615	37278	1	2.0906	2.4	0.187	1	0.41	1104.9	10.2	1145.7	16.6	1223.9	43.2	1223.9	10.2
68	70	9216	1.4	2.3243	2.1	0.207	1	0.47	1212.6	11.1	1219.7	15.1	1232.3	37	1232.3	11.1
69	71	5163	1.3	2.2831	5.2	0.2031	1	0.19	1192.2	10.9	1207.1	36.4	1233.7	99.2	1233.7	10.9
70	128	18066	5	2.3199	2.7	0.2054	1	0.37	1204.1	11	1218.4	19	1243.7	48.6	1243.7	11
71	682	73803	2.8	2.4833	2	0.2156	1.3	0.65	1258.8	14.6	1267.2	14.2	1281.5	28.8	1281.5	14.6
72	273	18621	2	2.0618	2.4	0.1779	1	0.43	1055.4	10.1	1136.2	16.4	1294.1	42	1294.1	10.1
73	72	5196	0.7	1.9668	4.1	0.1682	2.7	0.67	1002	25.3	1104.2	27.3	1311.5	58.2	1311.5	25.3
74	253	34944	0.7	2.7418	1.6	0.2301	1.3	0.78	1335.3	15.1	1339.9	11.9	1347.2	19.4	1347.2	

Tabla 3. Análisis geocronológico U-Pb (circon) de la muestra CC06-1, procedente del cañón de Caballeros, Tamaulipas (coordenadas: 23°49.31'N, 99°16.48'W, datum WGS84).

Análisis	U (ppm)	Relaciones isotópicas					Edades aparentes (Ma)									
		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	U/Th	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	\pm	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	\pm	error corr.	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	\pm	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	\pm	Mejor edad	\pm		
1	205	5026	1	0.61511	2.7	0.07364	1.9	0.72	458	8.5	486.8	10.4	624.5	40.6	458	8.5
2	177	1217	2	1.1498	16.2	0.09936	4.9	0.3	610.7	28.6	777.1	88	1290.9	301.4	610.7	28.6
3	676	38678	1.7	0.86474	1.4	0.10315	1	0.71	632.8	6	632.7	6.7	632.2	21.6	632.8	6
4	279	11568	0.9	0.8724	2.3	0.10317	1.3	0.58	633	8.1	636.9	10.9	650.7	40.3	633	8.1
5	914	18168	1.8	1.06763	4	0.11768	3.9	0.97	717.2	26.3	737.6	21	800	21	717.2	26.3
6	520	7029	2.8	1.42662	9.5	0.1318	9.3	0.98	798.1	70.2	900.1	56.9	1159.6	35.5	798.1	70.2
7	1087	21753	13.5	1.3686	2.6	0.13673	1.9	0.74	826.1	15.1	875.6	15.4	1002.7	35.6	826.1	15.1
8	175	7489	2.8	1.60174	4.6	0.15465	4.2	0.91	927	36.4	970.9	28.9	1071.6	38	927	36.4
9	72	8625	2.3	1.56769	3.3	0.1631	1.3	0.4	974	12	957.5	20.6	919.9	62.8	974	12
10	112	11296	1.2	1.71213	1.7	0.17021	1	0.59	1013.3	9.6	1013.1	11.2	1012.7	28.7	1012.7	28.7
11	277	30463	2	1.82885	1.7	0.18053	1.3	0.8	1069.9	13	1055.9	10.9	1027	20.3	1027	20.3
12	176	24148	2	1.7792	1.7	0.17514	1.4	0.81	1040.4	13.2	1037.9	11.1	1032.6	20.3	1032.6	20.3
13	81	7710	1.4	1.78162	1.9	0.17456	1.4	0.75	1037.2	13.3	1038.8	12.1	1042.1	25.1	1042.1	25.1
14	644	10018	3.4	1.71013	2.3	0.16753	1.8	0.77	998.5	16.7	1012.3	15	1042.4	30.3	1042.4	30.3
15	300	24031	20.9	1.82131	2	0.17764	1.6	0.83	1054.1	15.8	1052.2	12.8	1051.3	22.1	1051.3	22.1
16	41	4916	2.7	1.82165	3.1	0.17627	2.3	0.73	1046.6	22.3	1053.3	20.6	1067.2	43	1067.2	43
17	84	10704	1.8	1.95187	2.7	0.18883	1.2	0.45	1115	12.5	1099.1	18.3	1067.7	49.2	1067.7	49.2
18	347	23795	3.6	1.7914	1.4	0.17251	1	0.71	1025.9	9.5	1042.3	9.2	1076.9	20.2	1076.9	20.2
19	50	13761	1.2	1.928	2.1	0.18545	1.2	0.55	1096.7	11.7	1090.8	14.2	1079.2	35.6	1079.2	35.6
20	289	18792	3.8	1.87362	2.5	0.17847	1.9	0.76	1058.6	18.3	1071.8	16.3	1098.7	32.1	1098.7	32.1
21	134	21913	3.4	1.95838	1.9	0.18618	1	0.52	1100.6	10.1	1101.3	12.8	1102.6	32.6	1102.6	32.6
22	309	17550	2.1	1.8398	2.1	0.17488	1.8	0.84	1039	17.2	1059.8	13.9	1102.9	22.7	1102.9	22.7
23	645	53991	8.4	1.93325	1.6	0.18298	1.3	0.79	1083.2	12.9	1092.7	10.9	1111.5	20	1111.5	20
24	45	4135	2.4	1.9267	2.9	0.1822	2	0.69	1079	19.9	1090.4	19.5	1113.3	42.2	1113.3	42.2
25	157	16223	1.6	2.01605	1.1	0.19024	1.1	0.51	1122.7	11.2	1120.9	14.4	1117.6	36.4	1117.6	36.4
26	121	19342	2.2	1.97512	1.7	0.18624	1	0.6	1101	10.1	1107.1	11.3	1119	26.8	1119	26.8
27	83	10391	1.7	2.0443	1.9	0.19255	1.4	0.76	1135.2	14.8	1130.4	12.7	1121.2	23.9	1121.2	23.9
28	106	8572	1.3	1.90567	2.3	0.17931	1.2	0.53	1063.2	12.1	1083.1	15.6	1123.3	39.7	1123.3	39.7
29	157	7165	1.9	1.82776	6.5	0.17182	5.9	0.91	1022.1	55.6	1055.5	42.7	1125.1	55	1125.1	55
30	265	12630	2.7	1.95887	2.2	0.18355	1.3	0.62	1086.3	13.4	1101.5	14.6	1131.6	34	1131.6	34
31	281	13437	1.6	1.95028	2.4	0.1826	1.4	0.59	1081.2	14.4	1098.5	16.4	1133.1	39.2	1133.1	39.2
32	86	3484	1.8	1.83272	3.6	0.17138	2.5	0.69	1019.7	23.6	1057.3	23.7	1135.6	51.6	1135.6	51.6
33	126	10737	0.8	1.94366	3.2	0.1812	2.3	0.72	1073.5	22.5	1096.3	21.2	1141.7	43.8	1141.7	43.8
34	210	18228	3.1	2.04356	1.6	0.19009	1	0.67	1121.9	10.8	1130.2	10.7	1146.1	23.2	1146.1	23.2
35	190	11840	1.2	1.95238	1.9	0.1812	1.5	0.79	1073.5	15	1099.3	12.9	1150.5	23.4	1150.5	23.4
36	438	15784	2.1	1.92836	2.1	0.17859	1.8	0.88	1059.2	17.9	1091	14	1154.8	20	1154.8	20
37	110	9063	0.9	2.18584	2.7	0.20182	1.8	0.69	1185.1	19.9	1176.5	18.5	1160.8	38	1160.8	38
38	55	9120	0.7	2.04	2.7	0.18833	1.3	0.48	1112.3	13.4	1129	18.5	1161.1	47.1	1161.1	47.1
39	192	18838	3.3	2.05739	3	0.18925	2.1	0.71	1117.3	21.9	1134.8	20.6	1168.2	41.9	1168.2	41.9
40	208	29107	2.7	2.15254	1.4	0.19783	1	0.7	1163.6	10.6	1165.9	10	1170	20.5	1170	20.5
41	253	13691	2.5	2.05249	1.6	0.1877	1	0.64	1108.9	10.2	1133.1	10.7	1179.8	23.7	1179.8	23.7
42	267	13413	6.6	1.81409	6	0.16535	5.3	0.89	986.5	48.6	1050.6	39.1	1186.3	53.9	1186.3	53.9
43	201	5062	3.3	1.90504	3.2	0.17338	2.4	0.74	1030.7	22.5	1082.9	21.4	1189.3	42.9	1189.3	42.9
44	41	2263	1.3	1.99208	2.7	0.18125	1.8	0.68	1073.8	17.9	1112.8	18	1189.9	38.8	1189.9	38.8
45	73	8083	1.7	2.14317	2.5	0.19446	1.6	0.65	1145.5	16.9	1162.8	17.1	1195.3	37.1	1195.3	37.1
46	108	7343	3.1	1.97267	7.5	0.17763	7.4	0.98	1054	71.7	1106.2	50.8	1210.4	30.5	1210.4	30.5
47	95	6743	1.7	2.16891	2.3	0.19488	2	0.89	1147.7	21.1	1171.1	15.8	1214.6	20.7	1214.6	20.7
48	79	10387	2.5	2.2921	3	0.20505	1.7	0.55	1202.4	18.4	1209.9	21.5	1223.2	49.9	1223.2	49.9
49	188	5234	3.7	2.00379	3.9	0.17904	1.8	0.46	1061.7	17.5	1116.8	26.3	1225.6	67.6	1225.6	67.6
50	175	10473	0.5	2.07354	2.8	0.18502	2.3	0.83	1094.3	23.5	1140.1	19.3	1228.3	30.8	1228.3	30.8
51	289	14271	2.5	2.06469	3.2	0.18365	2.6	0.82	1086.9	26	1137.2	21.6	1234.4	35.1	1234.4	35.1
52	55	6499	0.5	2.33377	1.7	0.20749	1	0.6	1215.4	11.5	1222.6	12.3	1235.3	27.2	1235.3	27.2
53	38	2124	1.7	2.05312	4.9	0.18248	1.8	0.36	1080.5	17.5	1133.3	33.7	1236	90.4	1236	90.4
54	276	14379	2.6	2.33434	1.7	0.20697	1.4	0.79	1212.6	15.1	1222.8	12.4	1240.7	21.1	1240.7	21.1
55	506	32124	1.6	2.27931	2.1	0.20137	1.6	0.77	1182.7	17.8	1205.9	15.1	1247.7	26.8	1247.7	26.8
56	122	10351	1.5	2.3176	1.6	0.20472	1.2	0.74	1200.6	13.1	1217.7	11.5	1248	21.4	1248	21.4
57	427	22801	3.4	2.21419	3.3	0.19557	2.9	0.88	1151.5	30.4	1185.5	22.9	1248.2	30	1248.2	30
58	267	24527	2.1	2.35031	2.9	0.20759	2.6	0.91	1216	29	1227.7	20.5	1248.2	23.6	1248.2	23.6
59	476	10304	1.2	1.64582	6.2	0.14523	5.7	0.93	874.2	46.8	987.9	39.1	1250.1	45.5	1250.1	45.5
60	358	8675	2.6	2.13574	2.2	0.18775	1.2	0.55	1109.2	12.6	1160.4	15.5	1257.5	36.5	1257.5	36.5
61	38	2909	1.8	2.44418	5	0.21441	3.8	0.77	1252.3	43.5	1255.7	35.8	1261.6	62	1261.6	62
62	224	21829	1.8	2.29332	2.2	0.20116	1.8	0.84	1181.6	19.9	1210.2	15.5	1261.7	23	1261.7	23
63	131	17449	1.2	2.54842	1.8	0.22325	1	0.55	1299	11.8	1286	13.3	1264.3	29.7	1264.3	29.7
64	314	9211	2.5	2.03386	5.7	0.17712	1.6	0.28	1051.2	15.8	1126.9	38.9	1275.8	106.8	1275.8	106.8
65	563	34946	2.2	2.48204	3.7	0.21516	3	0.8	1256.3	34	1266.8	27	1284.7	43.9	1284.7	43.9
66	363	19216	5.3	2.01371	3.2	0.17381	2.6	0.83	1033.1	25.3	1120.1	21.7	1293.2	34.9	1293.2	34.9
67	100	3755	1.3	2.52509	3.1	0.21589	2	0.65	1260.1	23.1	1279.3	22.7	1311.6	46	1311.6	46
68	322	11633	1.1	2.23079	4	0.19022	2.9	0.72	1122.6	29.5	1190.8	27.7	1316.7	52.9	1316.7	52.9
69	224	18515	2.6	2.61949	3.5	0.22296	2	0.58	1297.5	23.9	1306.1	25.7	1320.3	55.1	1320.3	55.1
70	152	15877	1.6	2.52042	2.3	0.21439	2.1	0.9	1252.2	23.4	1277.9	16.6	1321.5	19.5	1321.5	19.5
71	96	4884	2.3	2.56116	3.7	0.21663	2	0.53	1264	22.7	1289.6	27.1	1332.5	60.7	1332.5	60.7
72	148	9211	1.5	2.5007	2.9	0.21127	1.6	0.53	1235.6	17.5	1272.2	21.3	1334.7	48	1334.7	48
73	221	6149	1.9	2.57173	4	0.21402	1.8	0.44	1250.2	20.2	1292.6	29.3				

5. Discusión

El depósito de la sucesión volcanosedimentaria que dio origen a los esquistos que afloran en las áreas de Aramberri, Miquihuana, Bustamante y los diferentes cañones del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, puede ubicarse en el Paleozoico Inferior, de acuerdo a las edades máximas de depósito que arroja la geocronología de circones detríticos. Sin embargo, las diferencias entre cada una de esas muestras parecen sugerir un prolongado periodo durante el cual ocurrió dicho depósito, o bien diferentes materiales clásticos depositados en diferentes cuencas, con variantes en los distintos aportes.

Mientras que la muestra colectada en el área de Aramberri registra solamente circones de ~530 Ma como los más jóvenes, la muestra del cañón de Caballeros y la muestra reportada por Nance *et al.* (2007) para el cañón del Novillo registran circones de ~433-458 Ma. Además, en la muestra de estos últimos autores se midió también un circón discordante de 336 ± 98 Ma, aunque no fue considerado en su interpretación final, debido al gran error y discordancia que presenta. Aunado a esto, la muestra colectada en el área de Miquihuana contiene un total de 24 circones en el intervalo de ~368 Ma (1 circón) y 463-489 Ma (23 circones). Con esto se identifica claramente que esta muestra presenta una importante aportación de circones a la cuenca, posiblemente asociados al magmatismo ordovícico-silúrico descrito por Miller *et al.* (2007) y asociado por los mismos autores al Complejo Acatlán del sur de México, aunque esto probablemente sólo en una etapa tardía de la evolución de dicha cuenca.

De acuerdo con lo anterior, las edades de circones detríticos del Esquisto Granjeno obtenidas en sus diferentes afloramientos del noreste de México son congruentes con las edades de metamorfismo del Paleozoico Superior previamente reportadas, habiéndose obtenido únicamente edades del Paleozoico Inferior como edades máximas del depósito de la secuencia metamorfizada.

Considerando la ausencia de circones de edad ~500 Ma en las rocas expuestas en el área de Aramberri, se puede interpretar que los afloramientos en donde fue colectada la muestra de esta localidad corresponden a la parte inferior de toda la sucesión volcanosedimentaria, seguidos por las muestras del Anticlinorio Huizachal-Peregrina y finalmente los pequeños afloramientos que ocurren en el área de Miquihuana, como correspondientes a un nivel más superior. Aunque lo anterior habrá de ser corroborado con trabajo de campo más detallado en las diferentes áreas, y posiblemente más datos geocronológicos, es de señalarse el número de circones (24) de edad ordovícica-devónica en la muestra de Miquihuana y la ausencia total de estos en la muestra de Aramberri. La misma interpretación nos lleva a argumentar el ya mencionado periodo prolongado de evolución de esta cuenca y del depósito, que habría tenido lugar desde un punto comprendido entre el Cámbrico Inferior (530 Ma) y

el Ordovícico Medio (463 Ma), hasta una etapa posterior al Silúrico Inferior (430 Ma en el cañón del Novillo) o el Devónico Superior, si se considera el circón de 368 Ma y que, además, teóricamente el periodo de sedimentación podría darse hasta poco antes del metamorfismo de la secuencia en el Carbonífero-Pérmico (300-270 Ma).

Las marcadas diferencias en las edades máximas del depósito, así como en algunos de los picos que se observan, indican un largo periodo de depósito de la sucesión volcanosedimentaria que dio origen al esquisto, así como una intensa actividad tectónica que propició la interacción de diversos bloques y eventos tectonotermales durante la evolución de la cuenca, mismos que aportaron las distintas poblaciones de circones.

Las diversas procedencias que se interpretan de los resultados obtenidos son congruentes con un origen perigondwánico de la sucesión volcanosedimentaria y señalan como principales fuentes de los sedimentos clásticos actualmente metamorfizados a:

(A) Rocas de edad grenvilliana, ya que del total de circones medidos, cerca del 60 % puede asociarse con el bloque de Oaxaquia (Gneis Novillo), con edades grenvillianas formando dos picos mayores, uno a los 1150 Ma y uno más a los 1247 Ma, además de un pequeño pico asociado de 975 Ma. En particular, en la muestra ARM07-1, procedente de Aramberri, aparece una población cercana a 1.2 Ga, que es característica del bloque Oaxaquia (Solari *et al.*, 2004). Sin embargo, las edades cercanas a 1.1 Ga y 920 Ma, en la misma muestra, no son del todo características de este bloque y más bien han sido previamente relacionadas a otros complejos de Sudamérica (Weber *et al.*, 2008).

(B) Rocas formadas durante el evento tectonotermal Panafricano-Brasiliano, que previo a la apertura del Golfo de México se hallaban más próximas al área de estudio, como es el caso de Yucatán y partes posiblemente de Texas, Florida e inclusive otras de Sudamérica y África.

(C) Rocas magmáticas del Ordovícico-Silúrico, documentadas ya en los mismos terrenos perigondwánicos.

(D) Algunas poblaciones menores de edades pregrenvillianas (1.4-1.5 Ga) que, aunque son conocidas de Laurencia, han sido también documentadas en partes de Gondwana (Weber *et al.*, 2006, 2008).

La clara correlación de las procedencias observadas con bloques o terrenos gondwánicos o perigondwánicos, sin la influencia de los terrenos precámbricos del suroeste de Norteamérica, es un argumento en oposición a un transporte tectónico de estas rocas, que hoy forman parte del basamento en la porción noreste de México, desde aquella región en el actual suroeste de Norteamérica y noroeste de México, como han considerado algunos modelos de evolución tectónica (Anderson y Schmidt, 1983; Salvador, 1987), suponiendo enormes desplazamientos senestrales a lo largo de la hipotética megacizalla Mojave-Sonora (Anderson y Silver, 1979).

Una diferencia más entre la muestra procedente de Aramberri y las otras muestras analizadas la constituye

la ausencia del pico prominente formado por cerca de 30 granos de circón con edades entre 1300 y 1500 Ma (máximo a los 1390 Ma) registrado en la muestra del cañón de Caballeros. Dicho pico se encuentra también presente, aunque sólo como una población menor representada por siete granos de edades entre 1363 Ma y 1430 Ma, en la muestra de Miquihuana. Esta población, que teóricamente podría corresponder con las provincias de magmas anorogénicos *Peninsular Ranges* o *Maria Belt* en el suroeste de Norteamérica (Barbeau et al., 2005), es a la vez comparable con edades reportadas en la Formación Santa Rosa del Paleozoico de Chiapas (Weber et al., 2006), y en algunas unidades de metasedimentos del Complejo Acatlán o como circones heredados en rocas magmáticas del Macizo de Chiapas o *Chiapas Massive Complex* (Weber et al., 2008) y de las Montañas Maya en Belice (Martens et al., 2010). Tales diferencias en las distintas muestras, que difícilmente pueden ser explicadas con la información existente hasta el momento, son, sin embargo, una notable evidencia de la variedad de los depósitos y sus procedencias de bloques que, posiblemente, sólo de manera temporal aportaron materiales clásticos hacia la cuenca.

El Esquisto Granjeno, hasta donde se ha observado en sus diferentes localidades, experimentó un metamorfismo en la facies de esquistos verdes durante el Paleozoico Tardío (De Cserna et al., 1977; Dowe et al., 2005), que puede ser interpretado como el producto de un complejo de subducción que se instaló en la margen occidental ecuatorial de Pangea a manera de un cinturón no colisional que produjo las fases tardías registradas también en partes del Complejo Acatlán, por lo que empleamos aquí el término “cinturón Granjeno-Acatlán”. Esta evolución ocurrió necesariamente en una etapa posterior a la colisión entre Laurentia y Gondwana, que formó el Cinturón Sonora-Ouachita-Marathon. El metamorfismo y deformación del Esquisto Granjeno estarían entonces relacionados a una posible fase de subducción de bajo ángulo (*high stress*), lo cual resulta congruente con la presencia del arco magmático permo-triásico en la porción oriental de México (Torres et al., 1999; Dickinson y Lawton, 2001), paralelo a la misma hipotética zona de subducción, pero relacionado a su etapa más tardía, de gran ángulo (*low stress*) (Figura 7).

Respecto al origen de los circones, Hoskin y Schaltegger (2003) apuntaron que la relación Th/U es contrastante si éstos se forman bajo condiciones ígneas o bien metamórficas, debido a la expulsión diferencial de cationes durante la recrystalización. De acuerdo a este parámetro, la mayoría de los ejemplares analizados son de origen ígneo, con proporciones Th/U cercanas o mayores a 0.5.

Finalmente, de acuerdo con las relaciones estratigráficas observadas en campo, en los diferentes afloramientos del Esquisto Granjeno, se puede reconocer el papel que estos esquistos, conjuntamente con bloques precámbricos, han jugado en el desarrollo de la paleogeografía del Mesozoico en el noreste de México, formando macizos rocosos elevados durante el Mesozoico Temprano, como es el caso

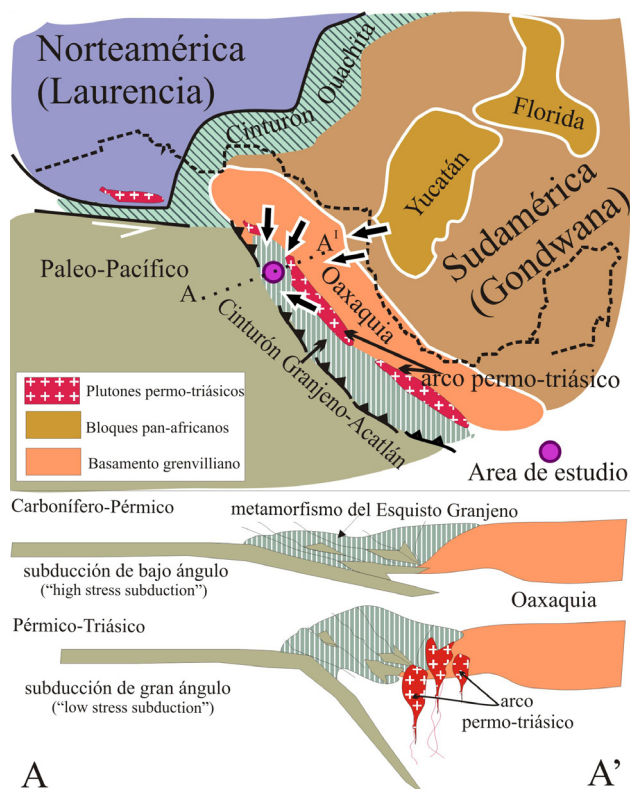


Figura 7. Modelo paleogeográfico de los cinturones Sonora-Ouachita-Marathon y Granjeno-Acatlán, en la porción ecuatorial de la margen occidental de Pangea. Las flechas indican las posibles direcciones de los aportes de circones desde los diferentes bloques, según sus edades. En la parte inferior se presenta el modelo de evolución tectónica para el Carbonífero-Pérmico y el Pérmico-Triásico a lo largo de la sección A-A'.

de las áreas de Aramberri, Miquihuana y Bustamante, que llegaron a constituir un alto en el paleorelieve de esta región durante el fin del Paleozoico y en el Triásico. Esto se fundamenta en que en zonas aledañas, como algunas partes del Anticlinorio Huizachal-Peregrina en Tamaulipas o El cañón del Alamar en la sierra de Pablillo, Nuevo León, existe una secuencia de varios cientos de metros de espesor de depósitos fluviales del Triásico Superior, que están ausentes por no depósito en las citadas áreas, en donde rocas volcánicas y sedimentos terrígenos del Jurásico Inferior a Medio yacen directamente sobre el Esquisto Granjeno y en el caso del área de Miquihuana, la transgresión marina, que a nivel regional arribó en el Jurásico Medio-Superior, localmente se presenta ya entrado el Cretácico.

6. Conclusiones

De acuerdo con las diferencias en edad máxima de depósito y en procedencia detectadas en las localidades estudiadas del Esquisto Granjeno, es probable que ocurriera un prolongado período de depósito entre las mismas o que hayan sido depositadas en cuencas diferentes. Existe una población importante de circones grenvillianos en

las muestras, con edades cercanas a 1.2 Ga y que podrían proceder del bloque de Oaxaquia o de algún otro bloque perigondwánico. Sin embargo, se han encontrado circones con edades cercanas a 1.1 Ga y 920 Ma, principalmente en la muestra de Aramberri, las cuales son más características de otras áreas de Gondwana. Los bloques de Yucatán y Florida, así como otras posibles áreas de Gondwana, aportaron una población importante de circones neoproterozoicos (panafricanos). Se descarta toda posible conexión, durante la evolución de esta cuenca, con la porción sur-occidental de Laurentia. La presencia de circones posiblemente provenientes del magmatismo ordovícico-silúrico queda demostrada en la muestra de Miquihuana y, aunque con pocas edades representativas, es probable en el caso del cañón de Caballeros, pero no para Aramberri. Según las relaciones Th/U, la mayor parte de los circones analizados tendrían un origen magmático. De acuerdo con las relaciones estratigráficas de las diferentes localidades, las rocas metamorfizadas del Esquisto Granjeno estuvieron expuestas y formaron áreas emergidas y levantadas en el Mesozoico Temprano, influyendo en forma significativa a la paleogeografía y la distribución de facies sedimentarias en ese tiempo.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo recibido de la Secretaría de Educación Pública (SEP) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) a través del proyecto 485100-5-25400T para la realización del trabajo de campo, así como a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por el financiamiento de los análisis geocronológicos, a través del Fondo de Apoyo a la Investigación (FAI). Se agradece el apoyo del laboratorio Arizona LaserChron Center de la Universidad de Arizona en Tucson, así como el financiamiento del traslado y estancia en dicho laboratorio a través del Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI) de la Facultad de Ingeniería (UASLP). Los autores agradecen las revisiones y valiosas sugerencias de los árbitros Alexander Iriondo y Bodo Weber, quienes han contribuido enormemente a mejorar este artículo.

Referencias

- Anderson, T.H., Schmidt, V.A., 1983, The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time: *Geological Society of America Bulletin*, 94, 941-966.
- Anderson, T.H., Silver, L.T., 1979, The role of the Mojave-Sonora megashear in the tectonic evolution of northern Sonora, *en* Anderson, T.H., Roldán-Quintana, J. (eds.), *Guidebook – Field Trip No. 27, Geology of Northern Sonora*. Prepared for the Geological Society of America 1979 Meeting: Pittsburgh, Pennsylvania, University of Pittsburgh, y Hermosillo, Sonora, Instituto de Geología, Estación del Noroeste, UNAM, 59-68.
- Barbeau, D.L., Ducea, M.N., Gehrels, G.E., Kidder, S., Wetmore, P.H., Saleeby, J.B., 2005, U-Pb detrital-zircon geochronology of northern Salinian basement and cover rocks: *Geological Society of America Bulletin*, 117, 466-481.
- Barboza-Gudiño, J.R., Orozco-Esquivel, M.T., Gómez-Anguiano, M., Zavala-Monsiváis, A.Z., 2008, The Early Mesozoic volcanic arc of western North America in Northeastern Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 25, 49-63.
- Carrillo-Bravo, J., 1961, Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamaulipas: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 13, 1-98.
- De Cserna, Z., Ortega-Gutiérrez, F., 1978, Reinterpretación tectónica del Esquisto Granjeno de Ciudad Victoria, Tamaulipas: *Contestación, Revista del Instituto de Geología UNAM*, 2, 31-36.
- De Cserna, Z., Graf, J.L., Ortega-Gutiérrez, F., 1977, Alóctono del Paleozoico Inferior en la región de Ciudad Victoria, Estado de Tamaulipas: *Revista del Instituto de Geología UNAM*, 1, 33-43.
- Denison, R.E., Burke, W.H., Hetherington, E.A., Otto, J.B., 1971, Basement rock framework of parts of Texas, southern New Mexico and northern Mexico, *en* Seewald, K., Sundeen, D. (eds.), *The geological framework of the Chihuahua Tectonic Belt: Midland, Texas*, West Texas Geological Society, 3-14.
- Dickinson, W.R., Lawton, T.F., 2001, Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 113, 1142-1160.
- Dowe, D.S., 2004, Deformational history of the Granjeno Schist, Ciudad Victoria, Mexico: Cleveland, Ohio, Universidad de Ohio, tesis de maestría, 106 p.
- Dowe, D.S., Nance, R.D., Keppie, J.D., Cameron, K.L., Ortega-Rivera, A., Ortega-Gutiérrez, F., Lee, J.W.K., 2005, Deformational history of the Granjeno Schist, Ciudad Victoria, Mexico: Constraints on the closure of the Rheic Ocean?: *International Geology Review*, 47, 920-937.
- Ehricke, C., 1998, Mafische und ultramafische Gesteine des Novillo Canyons, Sierra Madre Oriental, Mexiko: Freiburg, Alemania, Universidad de Freiburg, tesis de maestría, 93 p.
- Fries, C., Rincón-Orta, C., 1965, Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de geocronometría: *Boletín del Instituto de Geología, UNAM*, 73, 57-133.
- Fries, C., Schmitter, E., Damon, P.E., Livingston, D.E., Erickson, R., 1962, Edad de las rocas metamórficas en los cañones de La Peregrina y de Caballeros, parte centro occidental de Tamaulipas: *Boletín del Instituto de Geología UNAM*, 64, 55-69.
- Garrison, J.R., 1978, Reinterpretation of isotopic age data from the Granjeno Schist, Ciudad Victoria, Tamaulipas: *Revista del Instituto de Geología UNAM*, 2, 87-89.
- Garrison, J.R., Ramírez-Ramírez, C., Lang, L.E., 1980, Rb-Sr isotopic study of the ages and provenance of Precambrian granulite and Paleozoic greenschist near Ciudad Victoria, Mexico, *en* Pilger R.H. Jr., (ed.), *The origin of the Gulf of Mexico and the early opening of the central North Atlantic Ocean: Baton Rouge, Louisiana, E.U.A., Louisiana State University*, 37-49.
- Gehrels, G.E., Valencia, V.A., Pullen, A., 2006, Detrital zircon geochronology by Laser Ablation Multicollector ICPMS at the Arizona LaserChron Center, *en* Olszewski, T., (ed.), *Geochronology: Emerging opportunities: New Haven, Connecticut, E.U.A., Paleontological Society*, 67-76.
- Gursky, H.J., 1994, Paleozoic stratigraphy of the Peregrina Canyon area, Sierra Madre Oriental, NE Mexico: *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I*, 7/8, 973-989.
- Heim, A., 1940, The front ranges of the Sierra Madre Oriental, Mexico, from Ciudad Victoria to Tamazunchale: *Eclogae Geologicae Helveticae*, 33, 313-352.
- Hoskin, P.W.O., Schaltegger, U. 2003, The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, 27-62.
- Humphrey, W.E., 1954, Stratigraphy of the Cortinas Canyon section, Sierra de los Muertos, Coahuila, Mexico, *en* Diaz, G.T., *Twenty First Field Trip Guide Book: San Antonio, Texas*, South Texas Geological Society, 18-24.
- Imlay, R.W., 1938, Studies of the Mexican geosyncline: *Geological Society of America Bulletin*, 49, 1651-1694.

- Ludwig, K.R., 2003, Isoplot 3.00: Berkeley, California, Berkeley Geochronology Center, 70 p.
- Martens, U., Weber, B., Valencia, V.A., 2010, U/Pb geochronology of Devonian and older Paleozoic beds in the southeastern Maya block, Central America: its affinity with peri-Gondwanan terranes: Geological Society of America Bulletin, 122, 815-829.
- Meiburg, P., Chapa-Guerrero, J.R., Grotehusmann, I., Kustusch, T., Lentzy, P., De León-Gómez, H., Mancilla-Terán, M.A., 1987, El basamento pre-cretácico de Aramberri – Estructura clave para comprender el decollement de la cubierta jurásica/cretácica de la Sierra Madre Oriental, México: Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2, 15-22.
- Miller, B.V., Dostal, J., Keppie, J.D., Nance, R.D., Ortega-Rivera, A., Lee, J.K.W., 2007, Ordovician calc-alkaline granitoids in the Acatlán Complex, southern Mexico: Geochemical and geochronologic data and implications for the tectonics of the gondwanan margin of the Rheic Ocean, *en* Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., Zulauf, G. (eds.), The evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision: Geological Society of America Special Paper 423, 465-475.
- Mixon, R.B., Murray, G.E., Díaz-González, T.E., 1959, Age and Correlation of Huizachal Group (Mesozoic), State of Tamaulipas, México: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 23, 757-771.
- Nance, R.D., Fernández-Suárez, J., Keppie, J.D., Storey, C., Jeffries, T.E., 2007, Provenance of the Granjeno Schist, Ciudad Victoria, México: Detrital zircon U-Pb age constraints and implication for the Paleozoic paleogeography of the Rheic Ocean, *en* Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., Zulauf, G. (eds.), The evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision: Geological Society of America Special Paper 423, 453-464.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1978, El Gneis Novillo y rocas metamórficas asociadas en los cañones del Novillo y de La Peregrina, área de Ciudad Victoria, Tamaulipas: Revista del Instituto de Geología UNAM, 2, 19-30.
- Salvador, A., 1987, Late Triassic-Jurassic paleogeography and origin of the Gulf of Mexico Basin: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 71, 419-451.
- Solari, L.A., Keppie, J.D., Ortega-Gutiérrez, F., Cameron, K.L., Lopez, R., 2004, ~990 Ma peak granulitic metamorphism and amalgamation of Oaxaquia, Mexico: U–Pb zircon geochronological and common Pb isotopic data: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 21, 212-225.
- Stewart, J.H., Blodgett, R.B., Boucot, A.J., Carter, J.L., Lopez, R., 1999, Exotic Paleozoic strata of Gondwanan provenance near Ciudad Victoria, Tamaulipas, Mexico, *en* Ramos, V.A., Keppie, J.D. (eds.), Laurentia-Gondwana connections before Pangea: Geological Society of America Special Paper, 336, 227–252.
- Torres, R., Ruiz, J., Patchett, P.J., Grajales, J.M., 1999, Permo-Triassic continental arc in eastern México: Tectonic implications for reconstructions of southern North America, *en* Bartolini, C., Wilson, J. L., Lawton, T.F. (eds.), Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico: Geological Society of America Special Paper, 340, 191-196.
- Torres Sánchez, S.A., 2009, Petrología e Interpretación Geodinámica del Esquisto Granjeno en el Cañón de Caballeros, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, NE de México: Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de licenciatura, 186 p.
- Weber, B.L., Schaaf, P., Valencia, V.A., Iriondo, A., Ortega-Gutiérrez, F., 2006, Provenance ages of Late Paleozoic sandstones (Santa Rosa Formation) from the Maya block, SE Mexico. Implications on the tectonic evolution of western Pangea: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 23, 262-276.
- Weber, B.L., Valencia, V.A., Schaaf, P., Pompa-Mera, V., Ruiz, J., 2008, Significance of provenance ages from the Chiapas Massif Complex (southeastern Mexico): Redefining the Paleozoic basement of the Maya Block and its evolution in a peri-Gondwanan realm: The Journal of Geology, 116, 619-639.

Manuscrito recibido: Junio 18, 2009.

Manuscrito corregido recibido: Mayo 14, 2010.

Manuscrito aceptado: Septiembre 23, 2010.