

CAPITAL NATURAL Y BIENESTAR SOCIAL DE LA COMUNIDAD YAQUI



**Jose Alfredo Arreola Lizárraga
Jaime Garatuza Payán
Enrico A. Yépez Gonzalez
Agustín Robles Morúa**



CAPITAL NATURAL Y BIENESTAR SOCIAL DE LA COMUNIDAD YAQUI

Coordinadores

Jose Alfredo arreola Lizárraga

Jaime Garatuza Payán

Enrico Arturo Yépez González

Agustín Robles Morúa

Gestión editorial

Oficina de Publicaciones

Diseño de portada

Lorenia Guadalupe Félix Esquer



ITSON

Instituto Tecnológico de Sonora

5 de Febrero, 818 sur, Colonia Centro, C.P. 85000

Ciudad Obregón, Sonora, México

Teléfono: (644) 410-90-00, E-mail: rectoria@itson.mx

Web: www.itson.mx

Capital Natural y Bienestar Social de la Comunidad Yaqui

ISBN: 978-607-609-204-0

Primera edición 2019.

Se permite la reproducción total o parcial de la presente obra, así como su comunicación pública, divulgación o transmisión, mediante cualquier sistema o método, electrónico o mecánico [incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información], siempre y cuando esto sea sin fines de lucro y con la condición que se señale la fuente.

INDICE

Sección I. Capital Natural y bienestar social de la Comunidad Yaqui

1.1	El territorio Yaqui	6
1.2	La variabilidad espacial y temporal del clima en las Comunidades Yaquis	12
1.3	Hidrología del territorio Yaqui	31
1.4	Geología del territorio Yaqui	45
1.5	Descripción oceanográfica de la zona costera del territorio Yaqui	69
1.6	Vegetación y flora: capital natural y riqueza cultural	86
1.7	Ecosistemas costeros: condición y tendencia ambiental del complejo lagunar Guásimas- Lobos	106
1.8	Abastecimiento y calidad del agua superficial y subterránea	135

SECCIÓN II. Actividades Productivas

2.1	Desarrollo de la Agricultura en la Tribu Yaqui	162
2.2	Potencial ostrícola	185
2.3	Potencial acuícola: un desafío para el desarrollo social y sostenible de las Comunidades Yaquis	208
2.4	La Comunidad Yaqui y su importancia en la producción pesquera	233
2.5	El mezquite en las Comunidades Yaquis del Sur de Sonora	261

SECCIÓN III. Bienestar social, aspectos ambientales y de salud pública

3.1	Biomasa de fitoplancton y macroalgas como indicadores biológicos de impacto ambiental de las aguas residuales vertidas en Bahía de Lobos	281
3.2	Sistemas alternativos para el tratamiento de aguas residuales en Comunidades Yaquis	309
3.3	Pótam, Comunidad Yaqui del Sur de Sonora, México: ¿justicia ambiental por exposición a contaminantes?	338
3.4	Contexto y estrategia para el desarrollo económico y social de la Tribu Yaqui	366

Prólogo

El trabajo presentado aquí surgió con la intención de compilar en un solo sitio información acerca de la comunidad Yaqui, tratando de conjuntar los esfuerzos de muchos investigadores, de diferentes disciplinas, que han trabajado o intervenido en la comunidad y el territorio Yaqui.

El libro está dividido en tres secciones. En la primera sección se aborda lo relacionado a la parte física o Capital Natural, donde se describe los aspectos físicos del territorio (clima, hidrología, geología, flora y fauna, costas y abastecimiento de agua). Estos aspectos son importantes como información básica para el desarrollo de actividades productivas (temática de la segunda sección). El lector encontrará en esta sección información que le permita comprender porque ha sido tan importante para los yaquis la defensa de su territorio y sus recursos naturales, entre los que destaca el agua, que ha sido un elemento esencial en la historia de la tribu yaqui. Se presenta también información acerca de la variabilidad espacial y temporal de distintos elementos que podrán permitir entender y predecir algunos impactos del cambio climático para, finalmente, poder incrementar la resiliencia y adaptación.

En la segunda sección se presentan datos de las actividades productivas que se desarrollan en el territorio yaqui (agricultura, ostricultura, acuicultura, pesquería y aprovechamiento silvícola –mezquite). El lector encontrará información que describe estas actividades pero, además, información que permita obtener de ellas una producción continua y sostenible de bienes y servicios demandados por la sociedad. Se exploran dos actividades que aún tienen mucho potencial de desarrollo en el territorio yaqui: la ostricultura y la piscicultura.

La tercera sección toca aspectos de bienestar social y salud pública así como estrategias para un mejor desarrollo de la comunidad yaqui. Se exponen algunas problemáticas de impacto ambiental por descargas de aguas residuales y se proponen alternativas para su tratamiento. También se presentan información de riesgos en la salud humana por exposición a contaminantes.

Finalmente, el lector podrá entender que los marcos regulatorios en relación a los derechos indígenas son insuficientes o inexistentes, tal vez porque sigue vivo el legado del uso de la doctrina del descubrimiento justificando el que se ignore la presencia de los pueblos indígenas y sus derechos en los Estados. Este libro pretende ser un grano de arena para ayudar a que los efectos residuales esta doctrina desaparezcan y que la comunidad yaqui prospere y sea valorada, como corresponde a un pueblo que se ha mantenido en la lucha por conservar su territorio, sus recursos y sus tradiciones.

Los editores

SECCIÓN I

“Capital Natural y Bienestar Social de la Comunidad Yaqui”

José Alfredo Arreola Lizárraga

Jaime Garatuza Payán

Enrico Arturo Yépez González

Agustín Robles Morúa

(Editores)

1.4 Geología del Territorio Yaqui

Por Gustavo Padilla-Arredondo¹, Sergio Pedrin Avilés^{1,2}

¹Laboratorio de Manejo Costero, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.,
Unidad Sonora,

²Correspondencia: Carretera a Las Tinajas, km 2.35 predio El Tular, C.P. 85465. Guaymas,
Sonora, México.

Email: spedrin04@cibnor.mx

Resumen

La sierra El Bacatete y la planicie aluvial constituyen los rasgos geomorfológicos más sobresalientes del territorio denominado Sierras y Valles Paralelos. La litología es predominantemente Cenozoica edificada en un ambiente tectónico extensional ocurrida en dos fases: a) BR-I. Fracturamiento de la placa Farallón generando tectonismo extensional con volcanismo extrusivo e intrusivo, seguido por denudación clástica depositada en cuencas intracontinentales; b) BR-II. Finalización de la subducción, la placa Pacífica toma un nuevo control, el desplazamiento tangencial entre ambas placas produce una nueva tensión que fractura a la placa Norteamericana para la apertura del Golfo de California. Se generó sedimentación marina transgresiva y volcanismo de tipo basáltico el cual aflora en la costa Sonorense y en el área de la sierra El Bacatete.

Introducción

Este trabajo es una compilación bibliográfica que describe en forma generalizada la litología y los eventos tectónicos de la región que circunda el Polígono del Territorio Yaqui. Para la representación gráfica de la litología se utilizó la cartografía nacional de rocas propuesta por INEGI (2002) escala 1: 1 000,000 y su nomenclatura correspondiente que agrupa de forma generalizada los tipos de roca por su origen (ej. intrusivas ácidas, o extrusivas básicas). Debido a la extensión del territorio se habrían requerido al menos 4 cartas 1:50,000 que incrementarían el nivel de detalle geológico rebasando el propósito de este capítulo. Para enfatizar la estratigrafía de sistema montañoso El Bacatete ubicado en el corazón del territorio Yaqui la litología y las relaciones estratigráficas fueron asistidas únicamente con la carta Geológico Minera G12-2 Guaymas escala 1: 50, 000 de Servicio Geológico Mexicano (SGM), (García-Cortéz y Siqueiros-López, 2002). Algunas de las unidades litológicas descritas en texto no aparecen cartografiadas debido a la escala del mapa o porque se ha inferido que se encuentran en el subsuelo (ej. Formación Tarahumara) o afloran fuera del área, pero se describen aquí debido a su importancia para apoyar los eventos geodinámicos que se describen.

Con base en la carta de INEGI 1:1 000,000 la litología el área que circunda el territorio cubre una extensión temporal desde el Cretácico Superior (85 Ma) hasta el presente, aunque existen afloramientos muy reducidos al norte-este de rocas sedimentarias del Triásico – Jurásico que pudieran estar relacionadas con rocas afines al área de San Marcial descritas por González- León y Lawton et al. (2011). También se ha documentado un hiato o vacío en el registro geocronológico en el intervalo Paleoceno-Eoceno (65 a 35 Ma) (Roldán-Quintana y Mora-Klepeis et al. 2004).

La litología dominante en el territorio Yaqui es del periodo Cenozoico que se edificó dentro de una fase extensional con volcanismo calcialcalino los cuales se asocian a un cambio importante en el proceso de subducción de tipo compresivo a uno transtensional y posteriormente extensional.

El análisis integral del marco tectónico regional del Cenozoico en Sonora, la geodinámica, sus efectos en la litología y las geoformas resultantes fueron sintetizadas por; Radelli (2005); Valenzuela-Rentería y Vázquez-López, et al. (2005); Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana (1998); Calmus y Vega-Granillo et al. (2011); McDowell y Roldán-Quintana et al. (2011) y Ferrari y Valencia-Moreno et al. (2005) para la evolución de la Sierra Madre Occidental la cual encierra muchas evidencias de la geodinámica de subducción en Sonora.

Otros estudios que describen a detalle formaciones geológicas relacionadas al área del territorio Yaqui son: Formación Tarahumara (Wilson and Rocha, 1949; Mérida-Montiel y Librado-Flores, 2009); Formación Báucarit (Bartolini y Damon et al. 1994) y un importante estudio de la exhumación de los complejos del núcleo metamórfico en el área de Mazatán (Vega-Granillo y Calmus, 2003) como evidencia del inicio del periodo extensional en Sonora.

De gran importancia han sido los estudios focalizados en sitios adyacentes al Territorio Yaqui como las aportaciones de Roldán-Quintana et al., (2004) y de García-Cortéz y Siqueiros-López, (2002) donde se describe el Graben de Empalme que incluye el pilar tectónico oriental Sierra el Bacatete. Se consideró también una estudio amplio y detallado de Sierra Libre y Santa Úrsula

(Barrera-Guerrero, 2010) que es el bloque montañoso occidental del Graven de Empalme, análogo a la sierra El Bacatete.

La secuencia de eventos que se describe en esta síntesis es especulativa respecto a la cinemática de la subducción, pero las evidencias de los patrones de ésta han sido asistidas por numerosos estudios sobre los estilos estructurales del fallamiento, la geoquímica, edad de las rocas y la expresión en relieve de los eventos tectónicos.

Fisiografía y geomorfología

El territorio Yaqui involucra tres provincias fisiográficas, cada una de las cuales a su vez contiene una subprovincia que influye directamente en las características estructurales y de relieve: a) Provincia II Llanura Sonorense la cual contiene a la subprovincia 08 (Sierras y Llanuras Sonorenses); b) Provincia III Sierra Madre Occidental que incluye la subprovincia 09 (Sierras y Valles del norte y c) Provincia VII Llanuras costeras del Pacífico que incluye a la subprovincia 32 (Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa). Más del 90% del territorio Yaqui se ubica dentro de las subprovincias Sierras y llanuras Sonorenses y Llanura costera y deltas de Sonora y Sinaloa. Una mínima porción de la subprovincia Sierras y Valles del Norte aparece al noreste del Territorio (Fig.1).

Subprovincia Sierras y llanuras Sonorenses

Ocupa aproximadamente el 62 % del territorio. Se compone de bloques orogénicos con fragmentos montañosos a una posición altimétrica más baja las cuales que se presentan como mesas y lomeríos compuestos lavas basálticas y afloramientos graníticos. La Sierra el Bacatete constituye el pilar tectónico principal el cual se orienta al N-NW y a los costados del alto

estructural se encuentran los valles aluviales con suelos fértiles bien desarrollados de uso agropecuario (Mendoza-Cantú, 1997; Roldán Quintana et al. 2004).

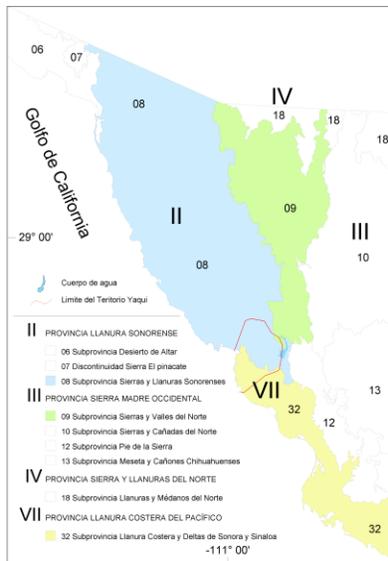


Figura 1. Provincias fisiográficas en el Territorio Yaqui. Fuente: INEGI (1993a, 1993b).

Subprovincia Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa

Dentro del territorio Yaqui esta subprovincia ocupa el 36% del área y la topografía dominante es una amplia llanura costera con abanicos deltaicos, lagunas costeras con manglar y planicies de inundación con salinas. También se reconoce la presencia de algunas playas arenosas, dunas costeras estabilizadas sobre la costa y cordones costeros de pequeñas dimensiones Mendoza-Cantú (1997).

La zona litoral desde la laguna costera Guásimas hasta la laguna Bahía de Lobos forma un amplio sistema lagunar-estuarino que representa el frente deltaico del Río Yaqui el cual contiene lagunas costeras con manglar que son de gran importancia para la comunidad Yaqui, los

principales cuerpos lagunares que lo integran son Estero Algodones, Las Guásimas y Bahía de Lobos.

El valle aluvial al oeste de Pótam y Vícam forma una planicie con buen sistema de drenaje, y presenta superficies dedicadas al uso agrícola con tecnología de riego. (Mendoza-Cantú, 1997).

Subprovincia Sierras y Valles del Norte

Se reconoce como las últimas estribaciones de la Sierra Madre Occidental cuya presencia en el territorio Yaqui es muy limitada, aproximadamente el 2% en el territorio y se restringe a una pequeña porción al noreste del polígono. Se caracteriza por presentar topofomas de bajada en lomerío en laderas al bloque de montaña y topofomas de valles Intermontanos amplios.

Con base en la regionalización de provincias fisiográficas presentada por Álvarez-Arellano y Gaitán-Morán (1994), el sistema costero de las Lagunas del Territorio Yaqui corresponde a la provincia Llanura Costera Oriental del Golfo de California, suprovincia Cuenca Yaqui/San Lorenzo/Acaponeta, que se caracteriza por presentar amplias llanuras costeras donde se han formado complejos deltáicos como los de los ríos Yaqui y Mayo. Lankford (1977) las clasifica como de tipo II-A que corresponde a lagunas con sedimentación terrígena diferencial, asociadas a prismas deltáicos, es típica la presencia de barras arenosas que encierran depresiones someras intradeltáicas, dando lugar a lagunas alargadas dentro de cordones de arena progradantes.

Litología

Mesozoico

Tríasico-Jurásico

La unidad más antigua corresponde a estratos sedimentarios de lutita-arenisca del Triásico-Jurásico (TR-J lu-ar) la cual aflora en extremo superior derecho (Fig. 2), aunque esta unidad no aflora en territorio Yaqui, forma parte de la geología circundante y puede ser correlacionable con alguna formación del Grupo Barranca descrito por González-León et al. (2011) quienes las interpretan de carácter continental transicional y con influencia marina por la presencia de fósiles bivalvos marinos y plantas. Se ha documentado que la parte inferior del grupo Barranca representa ambiente fluvial, pantanoso costero y marino somero; y la parte superior, ambiente costero, pantanoso y lagunar con incursiones marinas.

Cretácico superior

Está representado por rocas volcánicas ácidas e intermedias principalmente andesitas y tobas andesíticas (KIgei, KIgea) de la Formación Tarahumara con base en la Carta Guaymas del Servicio Geológico Mexicano SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997). Los afloramientos en el área se ubican al noreste del mapa. Estas unidades están intrusionadas por cuerpos graníticos y granodioríticos (KIgia) que se emplazaron durante el evento Laramide. Las unidades litológicas intrusivas y extrusivas descritas para el Cretácico Superior se extienden hasta el paleoceno. Este paquete de rocas forman el Grupo Nacozari (Grijalva y Roldán, 1998) el cual incluye a la Formación Tarahumara.

Cenozoico

Paleógeno

Para las épocas Paleoceno, Eoceno e inicios del Oligoceno no existen unidades litológicas aflorando en el área debido a un periodo de erosión o ausencia de depositación (Roldán Quintana, 2004), sin embargo a finales del Oligoceno (29 Ma) se ha reportado la existencia de un paquete de rocas compuesto por riolitas, dacitas y latitas (TIgei) y por unidades basálticas (TIgeb) las cuales están presentes en afloramientos muy reducidos. Estas rocas ígneas extrusivas se intercalan con conglomerados (Tcg) y con areniscas y conglomerados (Tar-cg), (Fig. 2).

Estas unidades se consideran como la primera emisión de un evento volcánico Oligo-Miocénico; relacionado con el inicio de un proceso tectónico extensional que produjo valles de rellenos clásticos, (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997). Este paquete de rocas extrusivas intermedias, basaltos, conglomerados y areniscas están afectados por un intrusivo hipabisal andesítico y riodacítico que por la escala del mapa no aparece cartografiado. A esta etapa de volcanismo extrusivo e intrusivo se le reconoce como evento pre-Báucarit (Calmus y Vega-Granillo et al. 2011), debido a que fue un evento sintectónico a la formación inicial de cuencas endorréicas conglomeráticas.

Neógeno

Las rocas del periodo Neógeno son las más representativas del territorio Yaqui ya que edificaron a los promontorios de mayor elevación como la Sierra El Bacatete y los rellenos sedimentarios en los valles aluviales.

Las unidades litológicas que caracterizan el volcanismo Neógeno se reconocen como rocas ígneas calcialcalinas las cuales están bien expuestas en las sierras El Bacatete y de Santa Úrsula

la cual constituye el pilar tectónico oeste del Valle de Empalme. La unidad cartografiada como Ts(Igeb) es un afloramiento de basalto-Andesita al oeste del polígono del territorio. En la carta del SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997) este basalto descansa discordantemente con una andesita- dacita pero no aparece cartografiada en la figura 5 por efecto de la escala del mapa. Sobreyaciendo a la unidad basáltica se encuentran las unidades Ts (Igea) que corresponde a una secuencia de tobas riolíticas y riodacíticas del Mioceno y se asocia a ignimbritas, brechas y aglomerados volcánicos. La edad asignada a las tobas es 10-11.5 Ma (McDowell et al. 2011). Estas rocas constituyen el núcleo de la sierra El Bacatete. En contacto lateral se encuentran los rellenos clásticos de conglomerado y areniscas de la Formación Báucarit depositados en un ambiente tectónico extensional reconocido como Sierras y Valles Paralelos.

Las unidades de rocas terciarias están afectadas por el granófito de Ortíz descrito por Roldán-Quintana (2004) y se distribuyen intermitentemente a lo largo de la zona de fractura del graben de Empalme en su flanco occidental y en la sierra El Bacatete está cubierto de manera discordante por el basalto de Empalme.

La unidad Q(Igeb) que corresponde a una secuencia de derrames basálticos de Mioceno (TmB) con base en la carta Guaymas del Servicio Geológico Mexicano SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997) se caracteriza por presentarse como derrames y brechas varían a andesita basáltica, afanítica con poco olivino en pequeños cristales, y de carácter toleítico. Esta unidad puede correlacionarse con el basalto Las Trincheras de la sierra de Santa Úrsula fechados en 8.5 a 10.3 Ma. De la misma edad Mioceno, afloran discordantemente lahares (TmLh), considerados

en este trabajo como contemporáneos o posiblemente un poco más antiguos que los basaltos (TmB).

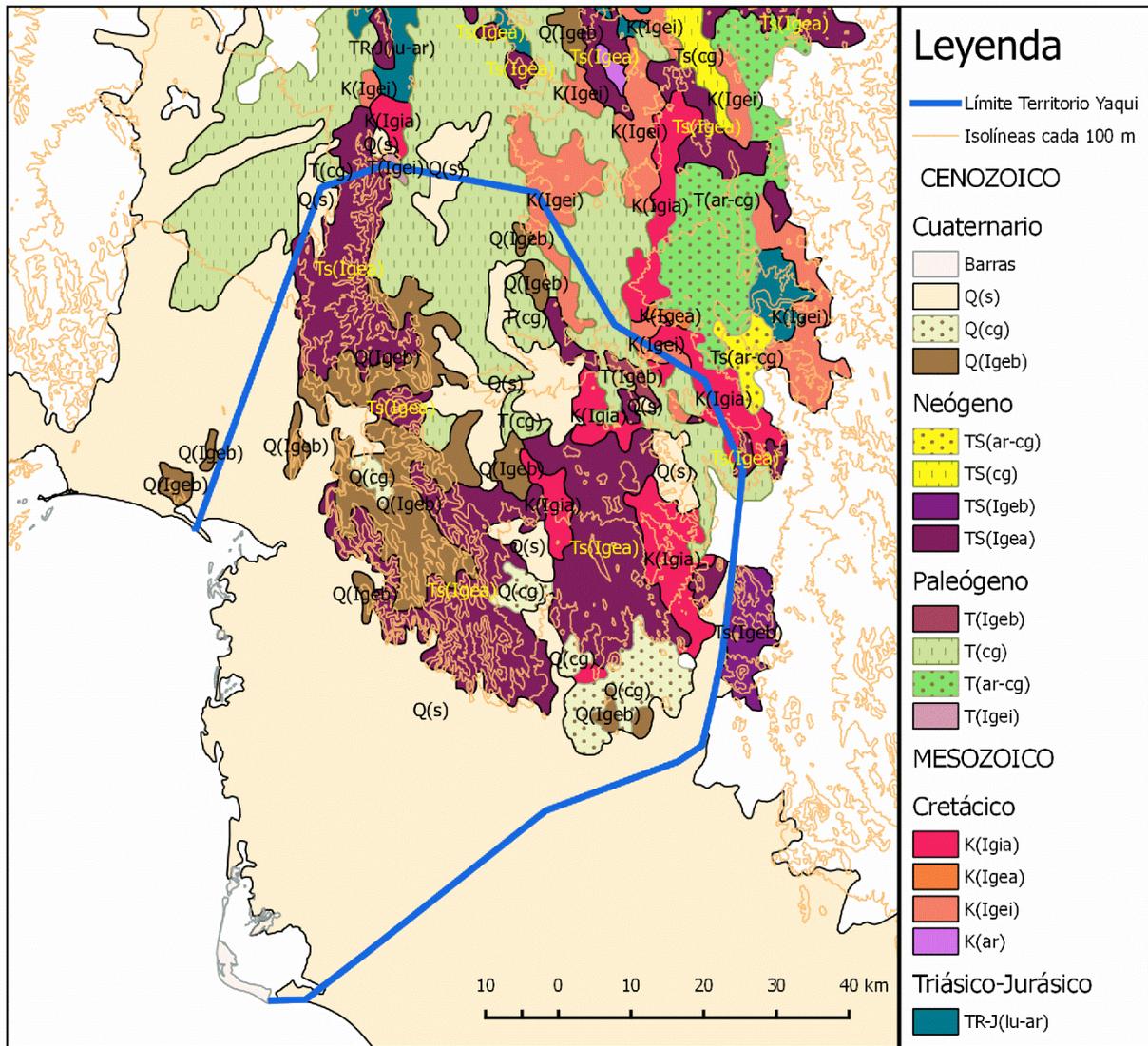


Figura 2. Unidades litológicas que afloran en los alrededores del territorio. Las unidades litoestratigráficas dentro del territorio son: 1) Cuaternario; Q(cg), Q(Igeb), Q(s). 2) Plioceno; Ts(cg), Ts (Igea). 3) Mioceno; T(cg), T(Igeb) y 4) Cretácico; K(Igia), K(Igea). Fuente: Carta Guaymas G12-2 esc 1:1000,000 (INEGI 2002). Mapa elaborado en QGIS V. 2.8.2-Wien. [HTTP://QGIS.OSGEO.ORG](http://qgis.osgeo.org)

El Plioceno y Holoceno se distribuye en el área ampliamente y está representado por areniscas (Qs) y conglomerados polimícticos (QCg) poco consolidados y en ciertas áreas están cubiertos por el aluvión holocénico el cuál presenta además depósitos lacustres, palustres, dunas eólicas activas e islas de barrera (barras). Los depósitos cuaternarios que rellenan el valle agrícola son sedimentos granulares de origen fluvial deltaico con un espesor promedio de 200 m el cual se amplía en la parte media debido a la estructura de fallas del basamento que generaron un graven tectónico (Montreal et al. 2011) los sedimentos son del tipo arenas gravas y gravillas con la presencia de lentes de arcilla compactada.

Marco geológico regional

En la costa sur de Sonora los aspectos estructurales y litológicos han sido desarrollados principalmente por eventos tectónicos de subducción y extensión debido a la interacción de las placas tectónicas Pacífica, Farallón y Americana, que propiciaron la generación de montañas, fracturamiento en bloques y sedimentación en cuencas interiores cuya expresión en relieve se han enmarcado dentro de tres provincias geológicas (Fig. 1) que agrupan la diversidad de eventos volcánicos, plutonismo y sedimentación en la región. En el territorio Yaqui la provincia de Cuencas y Sierras es la que domina el paisaje.

La geodinámica ocurrida desde fines del Cretácico (65 Ma) se desarrolló en al menos cuatro etapas que dieron origen a las provincias geológicas referidas anteriormente según se describe a continuación (Fig. 3).

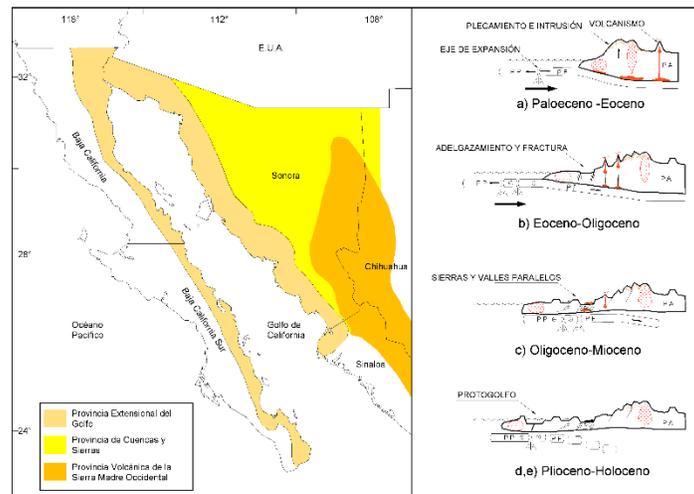


Figura 3. Marco geológico regional y secuencia de eventos relacionados con los aspectos geológicos del Territorio Yaqui. Imágenes modificadas de Roldán-Quintana et al. (2004).

a) Evento térmico Mesozoico Cretácico Superior –Eoceno

Es un evento magmático que ocurrió entre 90 y 40 millones de años en el noroeste del continente americano dentro de un periodo de tiempo conocido como Revolución Laramide la cual dio origen al emplazamiento de un cinturón de batolito granítico en la costa y centro de Sonora (Grijalva y Roldán, 1998; Valencia-Moreno y Ortega-Rivera, 2011). Esta intrusión magmática se relaciona a la subducción de la extensa placa oceánica Farallón, con la placa continental de Norteamérica. La fuerza de compresión ejercida por la placa Farallón plegó los sedimentos en la porción norte de lo que hoy forma la Sierra Madre Oriental de México, y también unidades litológicas del noreste de Sonora. Durante este evento se emitieron también rocas volcánicas que se manifiestan litológicamente como afloramientos de andesitas, intercalaciones de rocas ácidas con plegamientos y metamorfismo (Calmus, 2011) también reconocido como Grupo volcánico inferior de la Sierra Madre Occidental. (Ferrari et al. 2005). En el polígono del territorio Yaqui no existen afloramientos para el intervalo de tiempo Paleoceno-Eoceno como muestra la carta

G12-11 del SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997) pero se asume que el paquete de rocas volcánicas y volcanoclásticas que se ha descrito como Formación Tarahumara (McDowell et al. 1994;) se encuentra en el subsuelo. Un afloramiento importante se encuentra en Santa Clara, Sonora (Mérida-Montiel y Librado-Flores, 2009). Las unidades volcánicas extrusivas fueron afectadas posteriormente, por el batolito Laramídico también reconocido como Grupo Jaralito (Grijalva y Roldán, 1998) el cual solo aflora en la parte más al norte de las sierras Santa Úrsula y El Bacatete, aunque existen otros afloramientos en el área de San Carlos, (Roldán-Quintana et al. 2004).

b) Vulcanismo Eoceno-Oligoceno

La cresta de expansión entre la placa Pacífica y la placa Farallón se aproximaba a la placa de Norteamérica. La placa Farallón había reducido su tamaño y se encontraba fragmentada por un sistema de fallas de deslizamiento lateral (cizalla) que se propagaron al interior de la placa de Norteamérica (de norte a sur: fallas Mendocino, Murray, Molokai/Shirley y Clarión).

El contacto de la cresta oceánica con el continente ocurrió hace aproximadamente 30 Ma. En las proximidades de Cabo Mendocino USA pero en la costa de Sonora la subducción seguía vigente. Este acontecimiento marcó el inicio de un nuevo régimen tectónico de tipo extensional que produjo la ruptura de grandes bloques de corteza y la formación de cuencas depositacionales al interior del continente. El adelgazamiento de la corteza propició un volcanismo félsico masivo que originó al cinturón continuo más grande de ignimbritas en el mundo: grupo volcánico superior de la Sierra Madre Occidental, (Cochemé, 1985; Radelli, 2005; Calmus, 2011). En Sonora estas secuencias volcánicas se formaron adyacentes al núcleo de la Sierra Madre

Occidental como un proceso transicional entre un ambiente de compresión Laramídico y uno extensional (Grjalva y Roldán, 1998), sin embargo, en el área de estudio no hay volcanismo representativo para el intervalo Eoceno-Oligoceno temprano, este intervalo de tiempo geológico en el área de Empalme el graben está separado por discordancias erosionales, (Roldán –Quintana et al. 2004). Durante el Oligoceno medio y el Oligoceno tardío (25 a 32 Ma) se depositaron secuencias de riolitas, dacitas y latitas en el área del territorio Yaqui, que por su posición estratigráfica pudieran estar relacionadas con la etapa Pre-Baucarit descrita por Calmus et al. (2011) pero no existen dataciones radiométricas que corroboren esta suposición como se indica en la columna estratigráfica de la carta G12-2 del SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 2002) donde estas secuencias aparecen con edad indefinida.

c) Oligoceno-Mioceno formación de Sierras y Valles

Hace aproximadamente 25 Ma (Oligoceno-Mioceno), gran parte de la Placa Farallón se había consumido y la cresta en el eje de expansión había penetrado por debajo de la placa Americana haciendo disminuir el proceso de subducción, provocando adelgazamiento de corteza y desarrollo de fallas de bajo ángulo asociado a fallas lístricas secundarias, además propiciando la exhumación de un cinturón de domos conocidos como Núcleos Metamórficos Complejos, reconocidos en la zonas de Mazatán y Magdalena (Nourse et al. 1994; Vega-Granillo y Clamus, 2003). Posteriormente a los 20 Ma se formó el episodio magmático Miocénico de la región de la SMO, causado por el influjo térmico que produjo un adelgazamiento en la corteza. La fase tectónica distensiva de adelgazamiento de la corteza continental se reconoce como fase I de Sierras y Valles Paralelos (BR-I) que se distingue por la formación de Sierras y Valles paralelos orientados normalmente con una dirección de NW 20° con Valles más estrechos hacia la SMO y

más gruesos hacia el Golfo de California (Grijalva y Roldán, 1998). Este evento se caracteriza por un volcanismo bimodal representado por intercalaciones de andesitas y tobas pumíceas ácidas, que pueden alcanzar hasta los 800 m de espesor en la región de San Carlos-Guaymas y Santa Úrsula, correspondientes a los principales relieves que se encuentran en la parte oeste del sur de Sonora. Los valles intermontanos generados por la extensión fueron posteriormente rellenados por la denudación clástica de los pilares tectónicos más altos dando origen a las formaciones de los grupos sedimentarios Río Yaqui, Lista Blanca y Báucarit (Grijalva y Roldán, 1998), este último muy extendido dentro del territorio Yaqui. En el área bajo análisis esta fase tectónica está representada por la formación del graben de Empalme separada por los pilares tectónicos Sierra de Santa Úrsula y Sierra El Bacatete.

d) Mioceno – Holoceno (Proto-Golfo)

Durante esta fase, la subducción casi terminó y la tectónica se asocia a la formación de una fosa tectónica continental (Gastil, *et al.*, 1975), reconocida como la Fase II de Sierras y Valles Paralelos (BR-II). La extensión cambió la modalidad de ruptura donde la orientación de las fallas rotó con rumbo NE 20° y NW 20°. Baja California y Sonora se encontraban unidas, sin embargo, se infiere que entre 15 y 5 Ma existió una depresión nombrada como Proto-golfo de California la cual fue definida a partir de la estratigrafía de la parte superior del Grupo Empalme el cual consiste en una secuencia volcánica que se intercala con conglomerados marinos del mioceno medio aflorando en Isla Tiburón luego una secuencia de ignimbritas félsicas intercaladas con basaltos toleíticos (Grijalva y Roldán, 1998). En esta etapa tectónica se desarrolló un evento volcánico de gran magnitud durante el Mioceno medio en el NW de México el cual se manifestó como un cambio de modalidad de volcanismo de arco continental a extrusivo tipo Rift dando

origen a un gran depósito ignimbrítico hiperalcalino reconocido en Sonora y Baja California. Los vestigios de este evento volcánico han sido identificados y estudiados específicamente en la Sierra El Bacatete, Santa Úrsula y en la Sierra Libre (Barrera-Guerrero y Vidal-Solano, 2010) donde es posible apreciar un gran volumen de estas rocas hiperalcalinas conformado por varias manifestaciones riolíticas e ignimbríticas. Asociado a este volcanismo se extendieron depósitos aluviales, fluviales y lacustres en las depresiones existentes reconocidos como Grupo Sonora (Calmus et al. 2011).

e) Apertura del Golfo de California

La apertura del Golfo de California ocurre cuando la subducción finaliza por completo, y la dorsal del Este del Pacífico alcanza de manera oblicua el borde continental de la Placa de Norteamérica, originando una transición hacia un sistema de deslizamiento lateral y “rifting”, con edades que varían de los 4.5 Ma (Radelli, 2005). Este proceso distensivo generó la formación del Sistema de Fallas de San Andrés, causante del desplazamiento continuo hacia el NW de la Península de Baja California y parte de California, E.U.A. mismo que se compone de un conjunto de fallas escalonadas de desplazamiento lateral de tipo dextral.

En la región de Guaymas y San Carlos se exhiben las rocas volcánicas producto de la apertura del Golfo de California como es el caso de basaltos de afinidad toleítica que regionalmente se localizan en los bordes costeros de Sonora y Baja California, así como en algunas islas y en el interior del Golfo de California. En el área de estudio, la unidad representante es el Basalto de Empalme que aparece como mesetas bajas principalmente al oeste del graben y alineados a la orientación de las fallas del graben. Las unidades geológicas que representan el proceso

distensivo se correlacionan con la actividad volcánica del medio graben de la cuenca Grupo Moctezuma (Paz-Moreno et al. 2003) que se inició en el Cuaternario temprano caracterizada por erupciones de lava toleítica emanada por fisuras locales a lo largo de la falla principal.

Los valles de Empalme y Yaqui originados durante la primera fase extensional BR-I están rellenos por aluviones cuaternarios del Holoceno y la zona litoral ha sido transformada por los prismas deltáicos de los ríos Mátape y Yaqui y la franja litoral evolucionó a partir del cambio del nivel del mar durante el Holceno. Las lagunas costeras de la costa sur de Sonora fueron originadas por un acenso rápido del nivel del mar durante y después por progradación costera. En el Holoceno durante la etapa de deshielo glacial, una transgresión marina a escala mundial inició desde el borde de la plataforma continental a 125 m de profundidad hace 20,000 años. El mar invadió el continente a una velocidad que excedió la sedimentación costera. La tasa de levantamiento de nivel del mar disminuyó en los 7000 años antes de presente (Ap) posicionándose en -10 m sobre el nivel medio del mar actual propiciando que la línea costera mundial se estabilizara con la sedimentación (Curry et al. 1969; Phleger, 1969). El nivel del mar frenó su ascenso hasta posicionarse en su nivel actual hace 2000 años. Este periodo de tiempo fue propicio para la formación de Barreras arenosas (Barras) y el crecimiento de los prismas deltáicos paulatinamente fueron encerrando las bahías existentes al inicio de la estabilización. Donde existieron lugares con suministro prolongado de arena como las costas asociadas a ríos las barreras alcanzaron varios kilómetros de ancho y la progradó hacia el mar (Curry, 1969; Lankford, 1977). A partir de este tiempo se originaron las lagunas costeras y delta del territorio Yaqui.

Conclusiones

La geología asociada al Territorio Yaqui evolucionó principalmente desde el Cenozoico en tres periodos debido a la interacción de las placas Pacífica, Farallón y Norteamericana: a) etapa de subducción (etapa compresiva); b) etapa transicional y c) etapa extensional.

A excepción de las unidades del Triásico y Jurásico la etapa de subducción se manifiesta en el Territorio Yaqui con un cuerpo intrusivo del Cretácico Superior (batolito Jaralito) que afecta a unidades volcánicas y volcanoclásticas correlacionables a la Formación Tarahumara la cual no aflora en el área.

Después del hiato Paloceno-Eoceno (una etapa sin registro litoestratigráfico en el área) se inicia la etapa de transición compresiva – extensional atribuida al contacto de la dorsal del eje de expansión entre las placas Pacífica-Farallón contra la Norteamericana y a un cambio en el ángulo de incidencia de la placa Farallón lo cual produjo fallamiento en bloques y volcanismo félsico masivo que edificó el grupo superior de la Sierra madre Occidental. En el área del territorio se depositaron las unidades de rocas riolitas y dacitas, atribuidas a una posible etapa Pre-Baucarit pero cuya edad no está bien definida en las cartas geológicas del área.

Posteriormente, en el Mioceno el eje de la dorsal se había posicionado por debajo de la placa Norteamericana causando un adelgazamiento de la corteza que en combinación con el decaimiento de la subducción y el movimiento hacia el oeste de la placa Pacífica produjo un estiramiento de la corteza generó la exhumación de rocas metamórficas y grandes valles separados por sierras paralelas que fueron rellenados por sedimentación clástica como las

formaciones de los grupos Empalme y Rio Yaqui, este último incluye a la Formación Báucarit muy extendida en el área (etapa BR-I). Al terminar la transición en el Mioceno Medio la placa Farallón dejó de subducir, y la placa Pacífica que se movía hacia el oeste aplicó extensión adicional para generar un fracturamiento tipo “*rift*” que separó a la actual península de Baja California (etapa BR-II), ahora como parte de la placa Pacífica. La evidencia geológica son los sedimentos del Grupo Sonora que contienen sedimentación marina transgresiva y magmatismo toleítico tipo MORB (Mid Oceanic Ridge Basalt). En la región de Guaymas y San Carlos afloran estos basaltos de afinidad toleítica que regionalmente se localizan en los bordes costeros de Sonora y Baja California, así como en algunas islas y en el interior del Golfo de California.

El valle aluvial del territorio Yaqui constituye un graven de relleno sedimentario tipo deltáico iniciado en la fase BR-I. La zona costera evolucionó por los cambios de elevación del nivel del mar que originaron islas de barrera y lagunas costeras. Actualmente, la planicie aluvial contiene los suelos fértiles agrícolas y el subsuelo el acuífero más importante del Estado de Sonora. Las lagunas costeras constituyen un importante patrimonio económico y ecológico para la comunidad Yaqui.

Agradecimientos

Se agradece a David Urías Laborín por su participación en la elaboración de figuras y revisión del manuscrito.

Literatura citada

Álvarez-Arellano, A. y Gaitán-Morán, J. 1994. Geología. En: De La Lanza, G. y Cáceres C (Eds.) *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., P. 13-74.

Barrera-Guerrero, S. y Vidal-Solano, J. R. 2010. Nuevas evidencias del volcanismo anorogénico del Mioceno medio en el NW de México: Diversidad volcánica del evento hiperalcalino en La Sierra Libre, (resumen en extenso), en XX Congreso Nacional de Geoquímica, Temixco, Morelos: Libro de resúmenes, Instituto Nacional de Geoquímica. Vol. 16, No. 1, pp. 229-234.

Bartolini, C., Damon P. E., Shafiqullha, M. & Morales, M. M. 1994. Geochronologic contributions to the Tertiary sedimentary-volcanic sequences (“Baucarit Formation”) in Sonora, Mexico. *Geofísica Internacional* (1994) vol. 33, Num.1, pp. 67-77

Calmus, Thierry, Vega-Granillo, R. y Lugo-Zazueta, R. 2011. Evolución geológica de Sonora durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico, in Calmus, Thierry, ed., *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 7, p. 227–266.

Cochemé, J. J. 1985. *Le magmatisme cénozoïque dans le nord-ouest du Mexique, cartographie de la région de Yécora-Maicoba- Mulatos—Illustration magmatique de la fin d’un régime en subduction et du passage à un régime distensif*: Université de Droit, d’Économie et des Sciences d’Aix Marseille, tesis doctoral, 209 p.

Curry, J. R., Emel, F. J., and Crampton, P.J. 1969. Holocene History of a strand plain. Lagoonal coast, Nayarit Mexico. In: Ayala Castañares y F.B. Phleger (Eds.) *Lagunas Costeras*, Un

Simposio. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras UNAM-UNESCO, Nov. 28-30, 1967 México, D.F.: 63-100.

Dickinson, W. R. 1977. Paleozoic Plate Tectonics and Evolutions of the Cordilleran Continental Margin, In: J.H., Stewarth; C.H. Stevens and A.E. Fritsche (Eds.), Paleozoic Paleogeography of the Western United States. Pac. Sec. Econom. Paleontol. Mineral. Pac. Coast Paleogeogr. Simp. 1: P. 137-156.

Ferrari, L. Valencia-Moreno, M. y Scott, E. B. 2005. Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Temas Selectos de la Geología Mexicana Tomo LVII, núm. 3, 2005, p. 343-378.

García-Cortéz, J. y Siqueiros-López, C. 2002. Carta Geológico-Minera Guaymas G12-2 Sonora y Baja California Sur. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca Hidalgo, México. Primera edición Agosto 2002.

Gastil, G. R., Phillips, R. P, and Allison, E. C. 1975. Reconnaissance Geology of the State of Baja California. Geological Society of America Memoirs, 1975, 140, p. 1-201, doi: 10.1130/MEM140-p1

González-León, C. M., Lawton, T. F. y Reinhard, W. 2011. Estratigrafía del Triásico y el Jurásico Inferior de Sonora, México, in Calmus, Thierry, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 3, p. 57–80, 5 figs.

Grijalva-Noriega, F. and Roldán-Quintana, J. 1998. An Overview of the Cenozoic Tectonic and Magmatic Evolution of Sonora, Northwestern Mexico. Revista Mexicana de Ciencias

Geológicas, Volumen 15, Numero 2, P. 145-156. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; y Sociedad Geológica Mexicana, México, D.F.

INEGI. 1993a. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Estudio Hidrológico del Estado de Sonora. Av. Héroes de Nacozari 2301 CP 20270 Aguascalientes, Ags. ISBN 968-892-879-8., 182 p.

INEGI. 1993b. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática Provincias fisiográficas. Conjunto de Datos Vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Serie I. 1ª. Edición Aguascalientes, Ags., México.

INEGI. 2002. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Edition: 1a. Aguascalientes, Ags., México.

Lankford, P. R. 1977. Coastal Lagoons of Mexico: Their origin ad clasification. En: J. Wiley (Ed.) Estuarine Processes. Academic Press. Vol.2 New York. P. 182-215.

McDowell, F. W., Roldán-Quintana, J. and Amaya-Martínez, R. 2011. Interrelationship of sedimentary and volcanic deposits associated with Tertiary extention in Sonora, Mexico. *GSA Bulletin*, October 1997; v. 109; no. 10; p. 1349Ñ1360; 6 figures; 2 tables.

Mendoza-Cantú, M. E. 1997. Regionalización geomorfológica y de paisaje de la Zona Costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México. Tesis de Maestría en Conservación, Ecología y Manejo de Recursos Naturales, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Guaymas. 147p.

Mérida-Montiel, R. y Librado-Flores, J. 2009. Distribución de la Formación Tarahumara y sus relaciones con la mineralización. XXVIII Convención Minera Internacional, AIMMGM AC, Veracruz, Ver. 28 al 31 de octubre de 2009. p 1-6.

Nourse, J. A., Anderson, T. H. and Silver, L. T. 1994. Tertiary metamorphic core complexes in Sonora, northwestern Mexico: *Tectonics*, v. 13, p. 1161–1182.

Paz-Moreno, F. A., Demant, A., Cochemé, J. J, Dostal J. and Montigny, R. 2003. The Quaternary Moctezuma volcanic field: A tholeiitic to alkali basaltic episode in the central Sonoran Basin and Range Province, México, *in* Johnson, S.E., Paterson, S.R. Fletcher, J.M. Girty, G.H., Kimbrough, D.L., and Martín-Barajas, A., eds., *Tectonic evolution of northwestern México and the southwestern USA*; Boulder Colorado, Geological Society of America Special Paper 374, p. 439-455.

Phleger, F. B. 1969. Some General Features of Coastal Lagoons. In: Ayala Castañares y F.B. Phleger (Eds.) *Lagunas Costeras, Un Simposio. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras UNAM-UNESCO*, Nov. 28-30, 1967 México, D.F.: 5-26.

QGIS. Quantum Geographic Information System V. 2.8.2-Wien 2015. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

Radelli, L. 2005. Oligo-Miocene Evolution of Sonora-Baja California, Mexico - A Segment of the North American Margin. *Bol. Depto. Geol. UniSon*, 2005, Vols. 18 y 19, p. 153 – 174.

Roldán Quintana, J., Mora-Klepeis, G., Calmus, T., Valencia-Moreno, M. y Lozano-Santacruz, R. 2004. El graben de Empalme, Sonora, México: magmatismo y tectónica extensional asociados a la ruptura inicial del Golfo de California. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21, núm. 3, 320-334.

Valencia-Moreno, M. y Ortega-Rivera, A. 2011. Cretácico Tardío-Eoceno Medio en el noroeste de México—Evolución del arco magmático continental y su contexto geodinámico (orogenia Laramide), in Calmus, Thierry, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 6, p. 201–226, 25 figs.

Valenzuela-Rentería, M., Vázquez-López, F. y Radelli, L. 2005. Sistemas Riedel del Cenozoico Tardío en Sonora, México. *Bol. Depto. Geol. UniSon*, 2005, Vols. 18 y 19, p. 1–58.

Vega-Granillo, R. y Calmus, T. (2003). Mazatán metamorphic core complex (Sonora, México) Structures along the detachment fault and its exhumation evolution: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 16, núm. 4, p. 193-204.

Wilson, I. F. and Rocha, V. S. 1949. Coal Deposits of the Santa Clara District near Tonichi, Sonora, Mexico. *Geological Survey Bulletin 962-A*. Prepared in cooperation with the Secretaría De La Economía Nacional de México, Direction General de Minas y Petróleo and the Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Geología under the auspices of the Interdepartmental Committee On Scientific And Cultural Cooperation, Department of State, U.S.A. 80 p.



La obra “*Capital Natural y Bienestar Social de la Comunidad Yaqui*”,
se terminó de editar el 30 de junio en el
Instituto Tecnológico de Sonora,
en Cd. Obregón, Sonora, México.

Fue puesto en línea para su disposición en el sitio www.itson.mx
en la sección de Editorial ITSON.

