



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**La Cuenca de Tlaxiaco y sus
recursos naturales del subsuelo
como parte del libro digital: Las
cuencas sedimentarias de México y
sus recursos naturales del subsuelo**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Lourdes Alejandra Franco Bautista

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

Ing. Javier Arellano Gil



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024



Este trabajo de titulación fue realizado dentro del marco del Programa de Apoyo a Proyectos Para Innovar y Mejorar la Educación, de la UNAM (**PROYECTO PAPIME PE102024**), consistente en la elaboración del libro digital “**LAS CUENCAS SEDIMENTARIAS DE MEXICO Y SUS RECURSOS NATURALES DEL SUBSUELO**”.

Agradecimientos

Con enorme gratitud, dedico este trabajo a mis padres Ma. De Lourdes Bautista González y Jose Luis Franco Banco, a mi hermana María Guadalupe Franco Bautista, que me brindaron su amor, apoyo y herramientas para desarrollarme profesionalmente en un área que me entusiasma y llena de curiosidad. Este logro es tanto suyo como mío; gracias por estar siempre presentes.

A mis profesores, que me brindaron los conocimientos y las bases para mi formación académica, inculcando en mí la inspiración, curiosidad y sabiduría para investigar más allá de lo evidente. En especial, a la Doctora Guerrero Arenas Rosalía quien me instruyó a lo largo de esta investigación y el Ingeniero Arellano Gil Javier por su asesoramiento, gracias.

A las personas que conocí a lo largo de mi carrera, que, a través de una serie de gentilezas, me mostraron el valor del amor, la amistad, la perseverancia, el trabajo en equipo y el crecimiento mutuo: Juan Borrego, Ruth Moreno, Jacqueline Cano, Adriana López, Citlali Porras, Juliana Silva y Alexa Uribe, agradezco profundamente su apoyo, compañía y las enseñanzas que dejaron una huella significativa en mi vida y mi formación.

Para todos aquellos que se han cuestionado sobre cómo se forman las maravillas del mundo natural, que este trabajo sea una invitación a continuar explorando con asombro lo desconocido.

Tabla de Contenido

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CUENCAS SEDIMENTARIAS.....	5
DEFINICIÓN DE CUENCA SEDIMENTARIA.....	5
CLASIFICACIÓN DE CUENCAS	5
<i>Cuencas Divergentes</i>	7
<i>Cuencas Transicionales</i>	9
<i>Cuencas Convergentes</i>	9
<i>Cuencas en el interior de la placa</i>	11
CLASIFICACIÓN DE PLATAFORMA SEDIMENTARIA.....	12
CUENCA DE TLAXIACO	14
TIPO DE CUENCA SEDIMENTARIA Y SU EVOLUCIÓN	19
EVOLUCIÓN DE LA CUENCA.....	20
ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DE TLAXIACO.....	30
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	34
PROPUESTA DE MODELO DE LA CUENCA	42
CONSIDERACIONES ECONÓMICAS.....	44
CONCLUSIONES	48
REFERENCIAS.....	49

Resumen

El estudio de los procesos tectónicos y evolución de la superficie terrestre, como la fragmentación y evolución de los supercontinentes es de particular interés para la ciencia. Uno de los ejemplos más significativos de estos procesos es Pangea, cuya ruptura ha dejado importantes registros geológicos que ofrecen un vasto campo de investigación durante el Mesozoico. En el sur de México, sobre el Terreno Mixteco, cubriendo algunos segmentos de Oaxaca, Puebla y Guerrero, se encuentra la Cuenca de Tlaxiaco, cuyo origen se asocia al desarrollo de un Rift. Esta cuenca, representa uno de los principales registros estratigráficos del sur de México asociados con la separación de Pangea.

A inicios del Mesozoico, México se encontraba en el margen ecuatorial occidental de dicho supercontinente, progresivamente, la paleogeografía comenzó a modificarse con el inicio de la fragmentación de Pangea, siendo las fallas corticales con orientación ~ NO-SE y ~N-S las causantes de una configuración cortical compleja, formando cuencas continentales en el sur de México.

El origen y evolución de la Cuenca de Tlaxiaco está dominado por dos importantes sistemas de fallas. La primera es la Falla del Río Salado-Axutla, con orientación WNW, extendida a lo largo de 25 km de Tecamatlán a Axutla. Esta falla marca el límite entre las rocas metarmórficas paleozoicas del Complejo Acatlán y las rocas sedimentarias mesozoicas. La segunda, es la Falla Caltepec, con orientación NNW, se extiende a lo largo de 20 km

en los estados de Puebla y Oaxaca, cerca del pueblo de Caltepec. Esta falla define el límite tectónico entre los complejos Oaxaqueño y Acatlán.

Durante el Jurásico temprano, la actividad de ambas fallas controló la exhumación de las rocas metamórficas de los complejos Oaxaqueño y Acatlán, configurando los bordes oriental y septentrional de la Cuenca de Tlaxiaco. La exposición, meteorización y erosión del basamento proporcionaron la principal fuente de sedimentos clásticas que rellenaron la cuenca.

El registro estratigráfico de la Cuenca de Tlaxiaco consta de cinco secuencias expuestas de manera discontinua en las zonas de Tlaxiaco, Tezoatlán, Olinalá y Tecamatlán:

En la parte inferior se encuentra la Formación Diquiyú y Formación Rosario de origen volcánico, cuya composición varía de riolítica a andesítica. Cubriendo a estas unidades se tiene a la Formación Cualac, conformada por un conjunto de abanicos aluviales compuesta de clastos metamórficos provenientes de los complejos Oaxaca y Acatlán.

En la parte superior, se tiene al Grupo Tecocoyunca inferior compuesto por rocas clásticas de un sistema fluvial meándrico y culminando se tiene a la unidad más joven perteneciente al Grupo Tecocoyunca superior compuesto de sucesiones clásticas carbonatadas con una gran riqueza de organismos marinos, las que subyacen a una unidad carbonatada denominada Caliza con Cidaris.

Dentro de las sucesiones clásticas se encuentran importantes recursos económicos: Depósitos de carbón semiantracítico y antracítico, ideales para la generación de energía en plantas carboeléctricas. En las proximidades de Huajuapán y Tonalá, los depósitos de barita y yeso tienen un considerable potencial minero, al igual que los yacimientos antimonio y mercurio en el Distrito Minero Los Tejocotes, Oaxaca.

Abstract

The study of tectonic processes and the evolution of the Earth's surface, such as the fragmentation and evolution of supercontinents, is of particular interest to science. One of the most significant examples of these processes is Pangea, whose breakup has left important geological records that offer a vast field of research during the Mesozoic. In southern Mexico, on the Mixteco Terrane, covering parts of Oaxaca, Puebla, and Guerrero, lies the Tlaxiaco Basin, whose origin is associated with the development of a rift. This basin represents one of the main stratigraphic records in southern Mexico related to the separation of Pangea.

At the beginning of the Mesozoic, Mexico was located on the western equatorial margin of this supercontinent. Progressively, the paleogeography began to change with the onset of Pangea's fragmentation, with NW-SE and N-S oriented crustal faults causing a complex crustal configuration, forming continental basins in southern Mexico.

The origin and evolution of the Tlaxiaco Basin is dominated by two major fault systems. The first one is the WNW-trending Salado River-Axutla fault, extended 25 kilometers from Tecamatlán to Axutla. This fault is the contact relationship between the paleozoic metamorphic rocks of the Acatlán Complex and the mesozoic sedimentary rocks. The second is the Caltepec Fault, it has a NNW trend, extended 20 kilometers through the states of Puebla and Oaxaca, near the town of Caltepec. This fault defines the tectonic boundary between the Oaxaca and Acatlán complexes.

During the early Jurassic, the activity of both faults controlled the exhumation of the metamorphic rocks of the Oaxaca and Acatlán complexes, shaping the eastern and northern edges of the Tlaxiaco Basin. The exposure, weathering, and erosion of the basement provided the main source of clastic sediments that filled the basin.

The stratigraphic record of the Tlaxiaco Basin consists of five sequences exposed discontinuously in Tlaxiaco, Tezoatlán, Olinalá, and Tecamatlán areas. At the base are the volcanic Diquiyú and Rosario formations, with compositions ranging from rhyolitic to andesitic. Overlying these units is the Cualac Formation, composed of alluvial fans with metamorphic clasts sourced from the Oaxaca and Acatlán complexes.

At the top, there is the lower Tecocoyunca Group, composed of clastic rocks of a meandering river system and culminating in the youngest unit belonging to the upper Tecocoyunca Group, which consists of clastic-carbonate successions, rich in marine organisms. These underlie a carbonate unit known as the *Caliza con Cidaris*.

Within the clastic successions there are important economic resources: Semi-anthracite and anthracite coal deposits, ideal for energy generation in coal-fired power plants. In Huajuapán and Tonalá, the barite and gypsum deposits have considerable mining potential, such as antimony and mercury deposits in *Los Tejocotes* Mining District, Oaxaca.

Introducción

El estudio de la Cuenca de Tlaxiaco, situada al noroeste de Oaxaca, en el sur de México, representa una pieza clave en la historia geológica de México. Esta región, abarca áreas de los municipios de Tezoatlán y Tlaxiaco en Oaxaca, Tecamatlán

Puebla y Olinalá, Guerrero; presenta registros vitales para el estudio de eventos tectónicos, estructurales y estratigráficos. Su análisis favorece la comprensión de la paleogeografía y paleoclimatología del Jurásico en el sur de México. Además, permite entender el proceso de fragmentación de Pangea durante el Jurásico inferior-medio.

Objetivos y Metas

El objetivo principal de esta investigación es analizar y caracterizar a las formaciones geológicas de la Cuenca de Tlaxiaco, proporcionando una comprensión profunda de su evolución tectónica y sedimentológica durante el Jurásico inferior-medio. Las metas específicas incluyen:

- Describir y clasificar las formaciones geológicas presentes en las áreas de Tezoatlán, Tlaxiaco, Tecamatlán y Olinalá.
- Determinar las edades geológicas de las formaciones mediante la revisión de datos geocronológicos existentes.
- Interpretar los ambientes deposicionales y la evolución de los sistemas sedimentarios en relación con la actividad tectónica de la cuenca.
- Elaborar un modelo de la cuenca sedimentaria, además de explicar los procesos geológicos involucrados en su origen y evolución.
- Describir los principales recursos naturales del subsuelo de utilidad para la sociedad.

Metodología

La metodología de este estudio se basa en la revisión y análisis de investigaciones previas, incluyendo artículos, tesis e informes técnicos. Los temas analizados en la bibliografía abarcan los siguientes rubros:

- Análisis de datos litológicos y petrográficos obtenidos de estudios anteriores, centrados en la composición y estructura de las rocas.
- Revisión de métodos geocronológicos previamente empleados, como el fechamiento de circones magmáticos y detríticos mediante técnicas de U-Pb.
- Evaluación de características estructurales y tectónicas de la cuenca.
- Análisis y descripción de los principales eventos tectónicos.

Cuencas Sedimentarias

Definición de Cuenca Sedimentaria

Son extensas depresiones de la corteza terrestre que se caracterizan por el depósito y acumulación de sedimentos provenientes de procesos erosivos y de meteorización de rocas preexistentes, dichos procesos ocurren a lo largo del tiempo geológico (Leeder, 2010).

Estas cuencas desempeñan un papel fundamental en la formación de diferentes tipos de rocas sedimentarias, además, actúan como archivo geológico, donde se preserva información valiosa de los diferentes eventos geológicos, climáticos y actividad paleobiológica, por lo que el estudio de las secuencias estratigráficas revela la evolución de la Tierra a lo largo de millones de años (Leeder, 2010).

Las cuencas sedimentarias se originan por una combinación de factores, como la subsidencia de la corteza terrestre, la tectónica de placas, la erosión y la deposición de sedimentos provenientes de diversas fuentes. Además de conservar la historia geológica, son de interés económico por su potencial almacenamiento de recursos naturales, como petróleo, gas natural, agua y minerales, fundamentales en la industria energética, minera y para la agricultura; lo que las convierte en áreas de interés tanto geológico como económico. Su estudio contribuye a la comprensión de la historia de la Tierra, además de tener implicaciones significativas en términos de exploración y explotación de recursos naturales.

Clasificación de cuencas

Durante décadas, diversos autores han buscado la manera más conveniente de clasificar a las cuencas sedimentarias. Sin embargo, son complejos y múltiples los elementos y procesos que influyen en su formación, haciendo que resulte difícil crear una única clasificación. Entre los esquemas que se emplean comúnmente destacan tres:

a) El primero se fundamenta en la teoría de geosinclinales y plataformas. Según esta teoría, las cuencas sedimentarias tienen su origen en los geosinclinales, definidos como depresiones alargadas en la corteza terrestre que surgen por la flexión y subsidencia de áreas extensas (Aubouin, 1965), se asocian con procesos de actividad tectónica. Por otro lado, las plataformas, en contraste con los

sinclinales, se consideran áreas más estables y menos afectadas por la tectónica. En ambos sectores, se produce la acumulación de sedimentos, si bien la tasa de depósito difiere, siendo mayor en los geosinclinales y menor en las plataformas (Aubouin, 1965). Esta teoría perdió vigencia con el avance y comprensión de la tectónica de placas.

b) El segundo se basa en la teoría de tectónica de placas, donde, el origen y evolución de cuencas sedimentarias se sustenta en que la litosfera está dividida en múltiples placas rígidas que se desplazan entre sí, sobre la astenosfera. Estos movimientos derivan en procesos que dan origen a zonas como márgenes continentales, rifts, colisiones continentales, entre otros. Esta teoría explica como la interacción entre placas afectan el relieve de la corteza, dando lugar a la formación de cuencas sedimentarias. Dicho enfoque abarca la complejidad y variabilidad de las cuencas sedimentarias en diferentes contextos tectónicos (Dickinson, 1974).

c) El tercero basado en la geodinámica (Ju et al, 2022), la que considera que los procesos que ocurren en la litosfera y sublitosfera, además de la influencia de agentes externos como los atmosféricos, biológicos y químicos son los que influyen en la formación de una cuenca sedimentaria. Estos factores interactúan como un sistema complejo que modifica activamente el relieve terrestre.

Para la realización de este trabajo, se tomó como base el esquema fundamentado en la teoría de tectónica de placas, el cual incluye sus diferentes regímenes que provocan extensión, compresión y deslizamientos laterales (Figura 1).

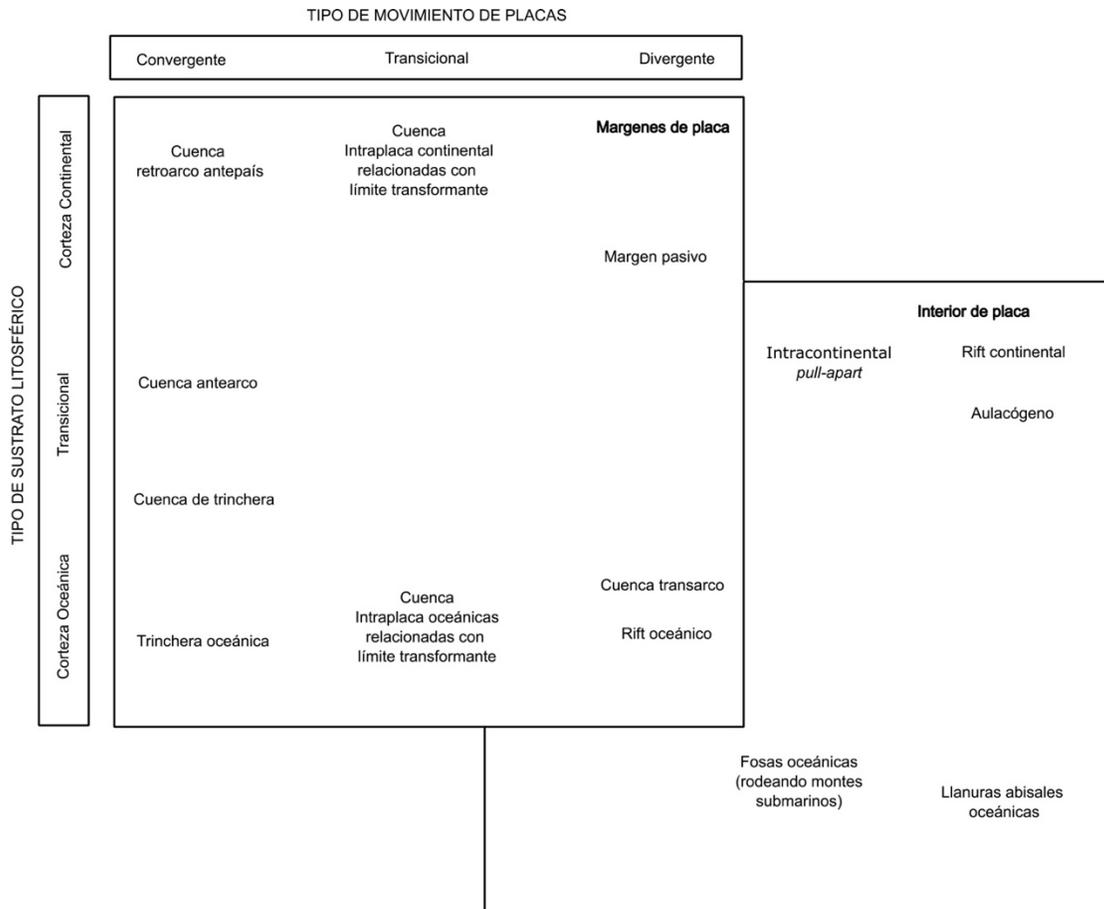


Figura 1. Clasificación de cuencas de acuerdo con el tipo de sustrato litosférico, movimiento de placas y ubicación respecto al límite de placa (modificado de Allen & Allen, 1990).

Cuencas Divergentes

Rift

Las depresiones topográficas se crean en regímenes de esfuerzos distensivos que causan extensión en la corteza terrestre, originados por anomalías térmicas que causan el adelgazamiento de la corteza, formando valles delimitados por estructuras de fallas normales que suelen formar grabens y horsts en un ambiente intraplaca (Allen & Allen, 1990; Loza Espejel, 2014).

Durante el proceso de rifting, el adelgazamiento de la corteza permite que el magma ascienda formando nueva corteza y un ambiente volcánico activo. La extensión forma una depresión cortical, en la cual es posible la deposición de sedimentos, los que tienen coincidencia con las etapas del Ciclo de Wilson, en particular, las que se asocian con el rift (Allen & Allen, 1990) (Figura 2).

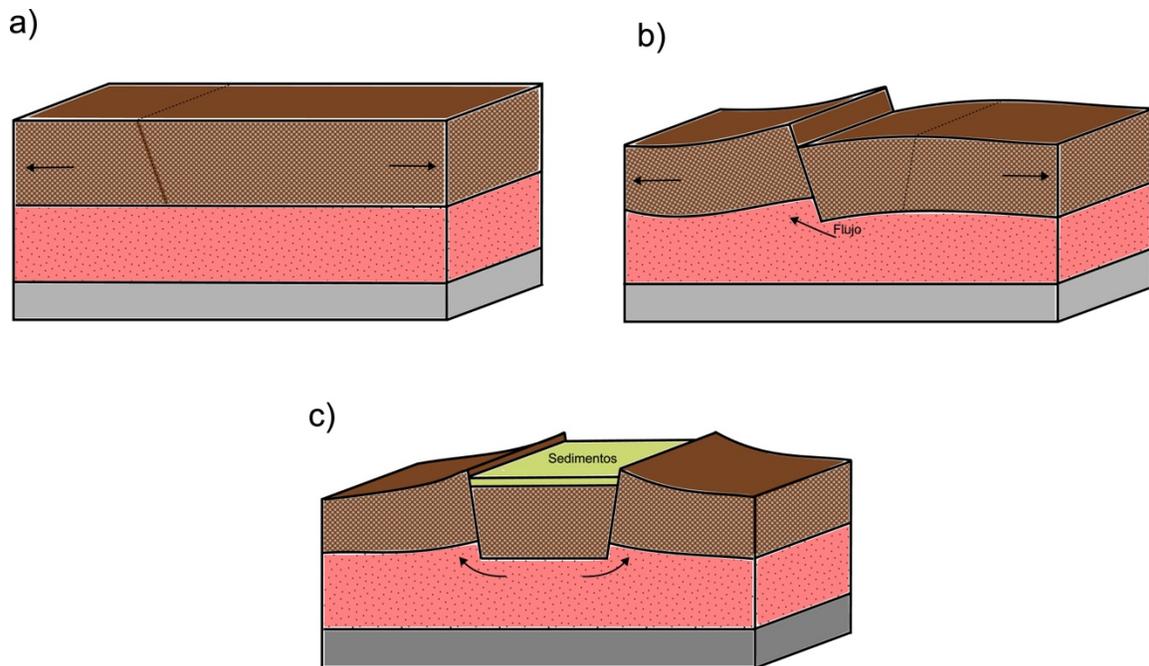


Figura 2. Etapas de formación de una cuenca de rift. a) Inicio de deformación cortical. b) Generación de medio graben. c) Formación de graben y acumulación de sedimentos en la parte superior. (Modificado de Di Castro Stringher, 2014).

Aulacógenos o rifts abortados

Son depresiones en la corteza terrestre que se forman por el adelgazamiento cortical debido a eventos extensionales. Éstos se forman en la etapa inicial del Ciclo de Wilson, pero su proceso es interrumpido, razón por la cual también se conocen como rifts abortados (García-Abdeslem, Regalado-Sosa, & Cerquone-Ravelo, 2013) (Figura 3).

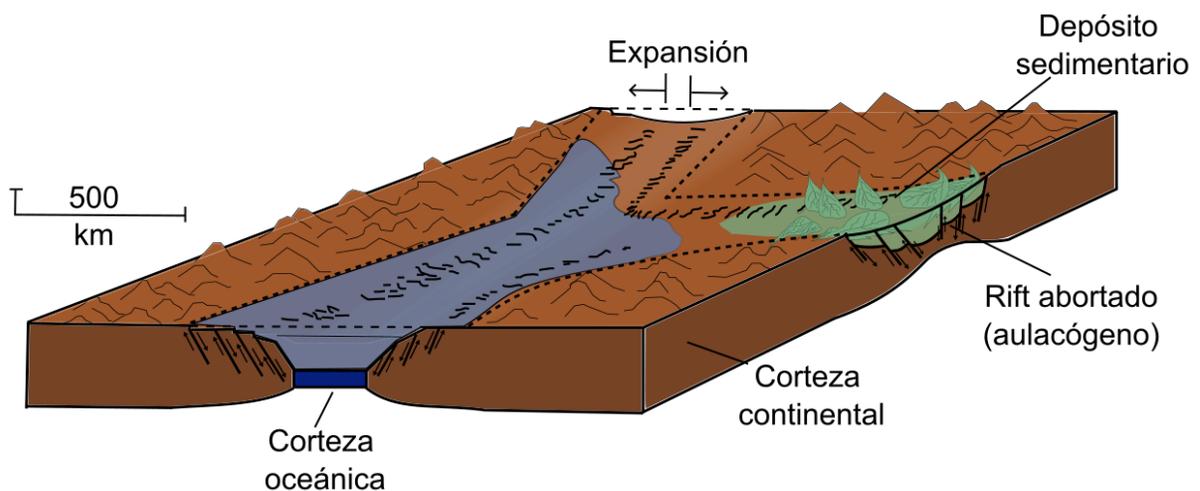


Figura 3. Representación de un aulacógeno (Modificado de Osorio Peralta, 2003).

Cuencas Transicionales

Strike-slip Pull-Apart o Cuenca Transtensional

Son cuencas sedimentarias formadas en ambientes de desplazamientos laterales, con fallas transformantes, las cuales, a su vez, sufren procesos extensionales (transtensión) donde son separados los bloques por fallas normales secundarias generando una depresión topográfica en la corteza que permite la deposición de los sedimentos.

Este tipo de cuencas presentan una tasa alta de depósito de sedimentos (Dou & Wen, 2021) (Figura 4), de tamaño generalmente pequeño, con estructuras de flor negativas, siendo este un rasgo distintivo.

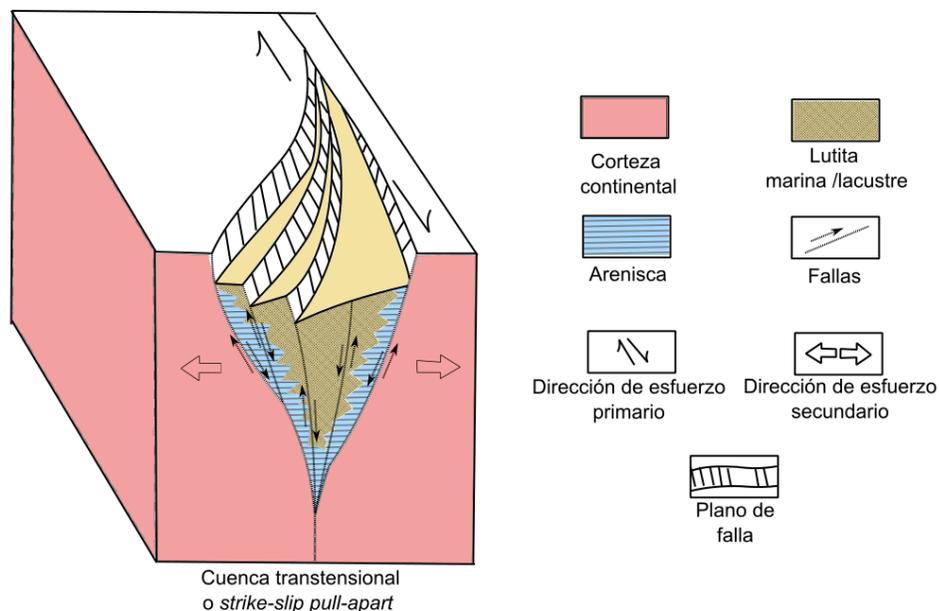


Figura 4. Patrones de formación de cuencas en entornos de esfuerzos cortantes (Modificado de Dou & Wen, 2021).

Cuencas Convergentes

Trinchera (trench)

Esta cuenca se forma en el límite de subducción, en un punto de convergencia tectónica y se encuentra justo frente al prisma de acreción (Figura 5). Este tipo de cuencas son las que tienen mayor profundidad en la Tierra.

El modelo de sedimentación consiste en una ligera deformación dentro y sobre la trinchera. Como resultado, se obtiene una batimetría que incluye cuñas subparalelas a la trinchera, con secuencias de turbiditas de aguas profundas (Busby & Ingersoll, 1995).

Las trincheras son una expresión superficial de los límites de subducción. Cada uno de los ejemplos se localiza donde una placa de litosfera oceánica desciende debajo del manto a lo largo de la zona de Wadati-Benioff (Busby & Ingersoll, 1995).

Antearco (*forearc*)

Las cuencas antearco se forman a lo largo de la zona de subducción generalmente de placa oceánica con placa continental (Figura 5). Este proceso de subducción produce magmatismo dando origen a un arco volcánico.

La zona antearco inicia desde la trinchera formada entre ambas placas y culmina en el arco volcánico formado en la placa continental.

Las cuencas tipo antearco se pueden subclasificar de acuerdo con varios criterios: su configuración inicial, el espesor de los sedimentos sobre la placa en subducción, la tasa de sedimentación suministrada en la trinchera, la tasa de sedimentación suministrada en el área de antearco, la tasa y orientación de subducción, así como el tiempo transcurrido desde el inicio de proceso de subducción (Dickinson, 1974; Busby & Ingersoll, 1995).

Cuenca trasarco (*back-arc*)

La cuenca trasarco se ubica en la parte trasera del arco volcánico (Figura 5). Se ubican a lo largo de los márgenes continentales en placas convergentes, razón por la cual se denominan cuencas “marginales” (Busby & Ingersoll, 1995); son formadas por anomalías termales y extensión con adelgazamiento cortical (Allen & Allen, 1990; Biju-Duval, 2002).

Más del 75% de las cuencas trasarco en el mundo se encuentran en la región circundante al océano Pacífico y la mayoría de estas cuencas, se localizan al oeste del océano Pacífico (Busby & Ingersoll, 1995).

Antepaís (*foreland*)

Este tipo de cuencas se forman bajo regímenes de esfuerzos compresionales, y márgenes convergentes; su formación es a partir de la colisión de dos placas tectónicas, donde se produce la subducción de la corteza oceánica en la corteza

continental, están directamente relacionadas con un frente de pliegues y cabalgaduras. Dicha colisión causa la deformación de la corteza terrestre, produciendo un levantamiento, es decir, la formación de una cadena montañosa. La cuenca sedimentaria se forma al frente de la cadena montañosa, es por eso por lo que también es conocida como antepaís, su relleno corresponde a secuencias turbidíticas (Busby & Ingersoll, 1995) (Figura 5).

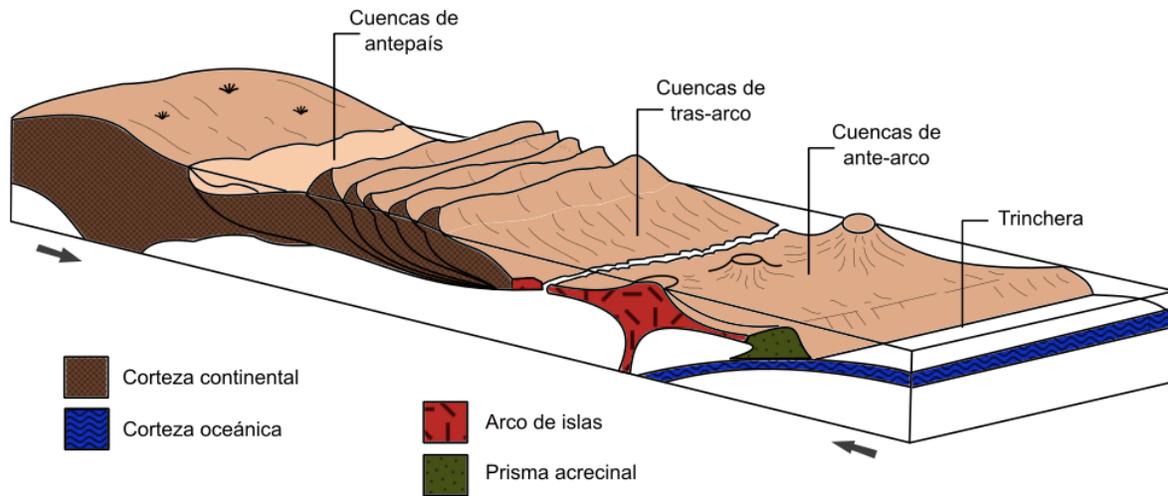


Figura 5: Representación de cuencas de antepaís, trasarco, antearco y trinchera, formadas por esfuerzos de compresión (Modificado de *University of Illinois Chicago*, 2006).

Cuencas en el interior de la placa

Cuenca intracratónica

Estas cuencas tienen su origen en la corteza continental, se forman a partir de la subsidencia de zonas dentro de cratones (Figura 6), que corresponden a las regiones más estables y antiguas de la corteza continental, que a pesar de ser conocidos por su escasa o nula actividad tectónica, pueden dar lugar a cuencas sedimentarias; estas representan áreas que han experimentado procesos de subsidencia y acumulación de sedimentos a lo largo de extensos periodos geológicos (Biju-Duval, 2002; Di Castro Stringher, 2014).

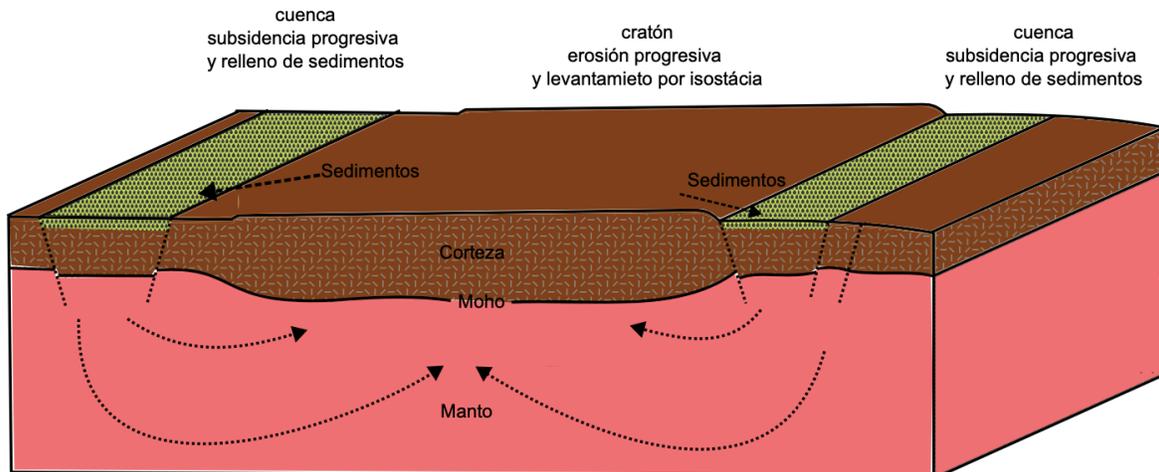


Figura 6. Esquema de cuencas intracratónicas. El cratón se erosiona y los sedimentos se depositan en las cuencas contiguas, las cuales son de gran extensión (Modificado Di Castro Stringher, 2014).

Cuenca de margen pasivo

Son originadas por procesos de extensión de la corteza continental, seguido de la ruptura continental e inicio de la expansión del fondo marino, por lo general son zonas de sismica inactiva y con flujos de calor “normales” (Ismail & Krishna, 2023; Allen & Allen, 1990), se forman en los bordes de las placas con escasa actividad tectónica, su relleno es generalmente de sedimentos de origen marino superpuestos a secuencias sedimentarias de la etapa de sin-rift de origen continental (Allen & Allen, 1990).

Clasificación de plataforma sedimentaria

Se considera como plataforma a la transición entre todos los tipos de márgenes continentales como foreland, rift, intracratónico, etc. (Busby & Ingersoll, 1995).

Las plataformas continentales quedan expuestas sobre el nivel del mar, cuando ocurren procesos de rompimiento y colisión continental, estos procesos controlan los niveles del mar, los cuales, a su vez, son moderados por otros procesos como glacio-eustasia (Busby & Ingersoll, 1995).

La plataforma continental representa la extensión al fondo marino de las regiones continentales (cratones o sistemas montañosos) con su límite exterior a una profundidad promedio de 200 m (Figura 7). Su superficie es nivelada acumulativa en partes abrasivas que representan formas originadas en tierra firme (Lugo, 1985). Algunos autores clasifican como plataformas oceánicas a aquellas que se encuentran en regiones más profundas del océano y están separadas de las

plataformas continentales por la pendiente continental. Tienen profundidades mayores y son parte del lecho marino (Busby & Ingersoll, 1995).

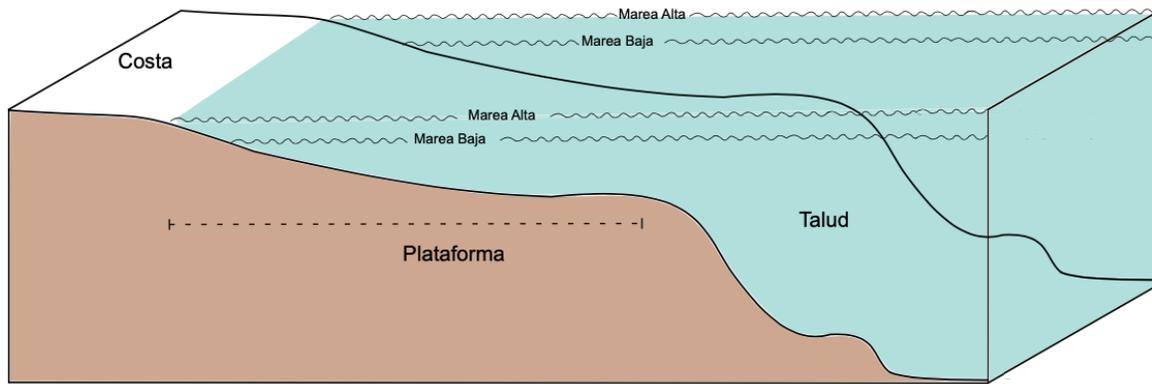


Figura 7. Esquema de plataforma continental (Modificado de Biju-Duval, 2002)

Cuenca de Tlaxiaco Ubicación

La cuenca de Tlaxiaco se encuentra sobre el Terreno Mixteco, cubriendo algunas zonas del sur del estado de Puebla, poniente de Oaxaca y oriente del estado de Guerrero; comprende una superficie aproximada de 30,000 m² (López Ticha, 1985).

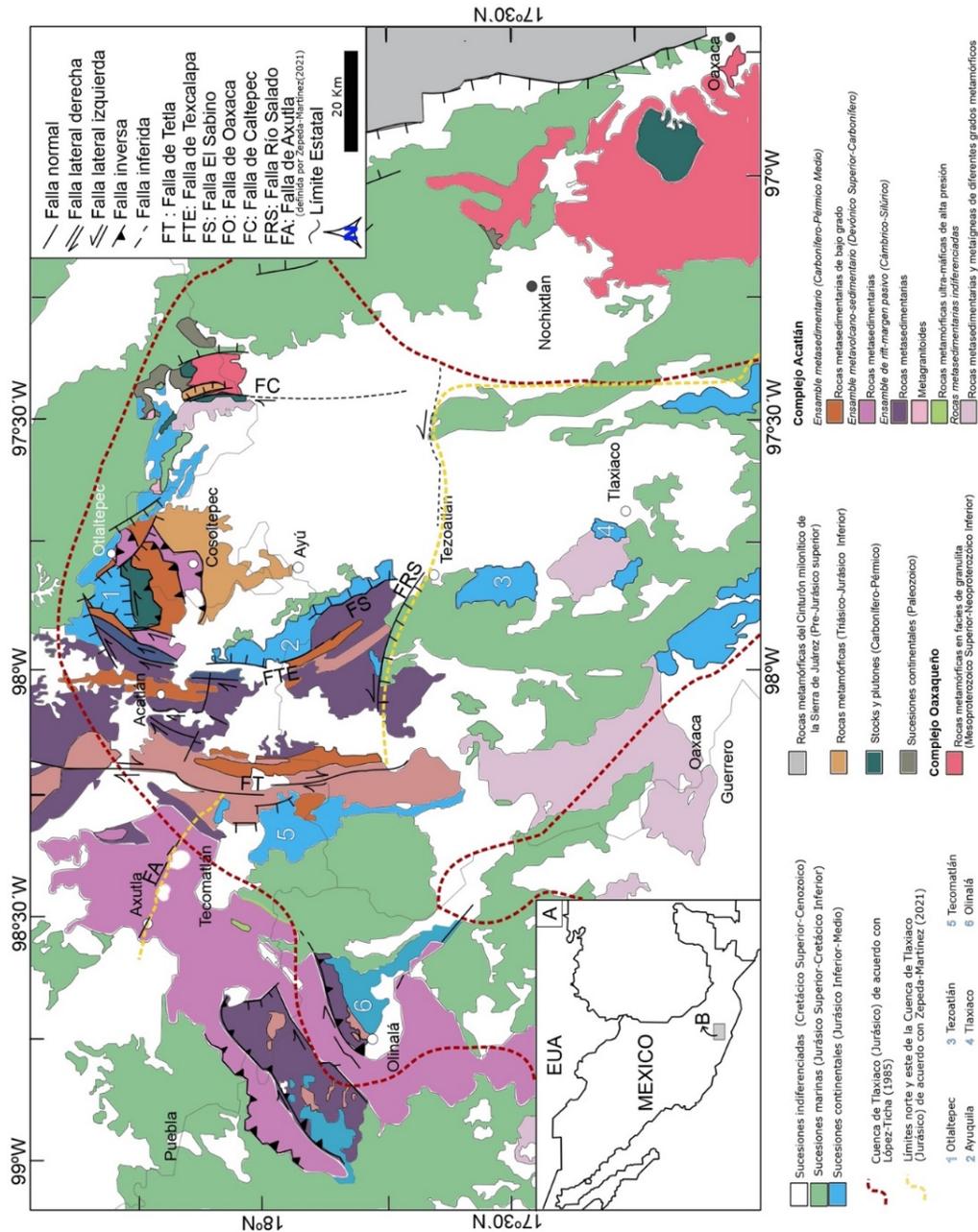


Figura 8. Límites de la Cuenca de Tlaxiaco propuestos por López-Ticha (1985) y Zepeda-Martínez (2021) sobre la geología del sur de México, señalando a las fallas importantes (modificado de Zepeda-Martínez, 2021).

La estratigrafía presenta registros asociados con la separación de Pangea durante el Jurásico inferior-medio. Consiste en sucesiones continentales a marinas en los alrededores de Tezoatlán y Tlaxiaco, Oaxaca, Tecamatlán, Puebla y Olinalá, Guerrero (Erben1956; Morán Zenteno et al,1993).

Basado en estratigrafías similares, López-Ticha (1985) sugirió que dichas sucesiones fueron depositadas a lo largo de 200 km en una cuenca de rift, denominada Cuenca de Tlaxiaco.

Zepeda-Martínez et al. (2021) describieron las áreas que contienen secuencias del Jurásico inferior-medio de la siguiente manera:

Área de Tezoatlán

En Tezoatlán, Oaxaca, aflora una secuencia mesozoica que se compone de rocas volcánicas en la base, sedimentos continentales en la parte media, y sedimentos principalmente marinos en la cima, que corresponden con cuatro unidades nombradas informalmente como formaciones Diquiyú, Rosario, Cualac y el grupo Tecocoyunca.

La Formación Diquiyú está constituida por derrames andesíticos y depósitos riolíticos. Las riolitas presentan estructura fluidal y las andesitas muestran una estructura brechoide. En las fallas se tienen zonas de cataclisis en las que se han desarrollado protomilonitas (González Torres, 1989). Estas rocas presentan metamorfismo de bajo grado e hidrotermalismo. De acuerdo con datos geocronológicos se infiere una edad de cristalización entre ~197 y ~189 Ma (Durán Aguilar, 2014) que corresponden al Jurásico inferior.

La Formación Rosario fue propuesta por Erben (1956). Su localidad tipo se ubica en las proximidades del poblado El Rosario, al suroeste de Tezoatlán. Dicho autor le asignó la edad Toarciano-Aaleniano basado en la relación estratigráfica. De acuerdo con Silva y Buitrón (1998 *in* Arellano-Gil et al, 2024), la parte inferior pertenece al Jurásico temprano (Toarciano) y la parte superior al Jurásico medio (Bajociano). La litología en afloramientos cercanos al poblado de Rosario Nuevo, Oaxaca, está constituida por un conglomerado basal oligomítico, constituido de clastos de origen volcánico de composición andesítica, derivados de la Formación

Diquiyú (Arellano Gil et al, 2024). Los clastos son de textura afanítica y los diámetros no son mayores a 10 cm, subangulosos a subredondeados; los clastos de cuarcita son esporádicos y corresponden a cuarzo lechoso. Erben (1956) describe la misma unidad definiéndola como aglomerados de una matriz tipo volcánico. La unidad presenta intercalaciones de lutitas y limolitas, con conglomerados con clastos de hasta 15 cm de diámetro, en ocasiones lentes de carbón: en general, las capas de lutitas tienen abundante contenido vegetal fósil (González Torres, 1989; Durán Aguilar, 2014).

La Formación Cualac aflora en el arroyo La Carbonera, en las proximidades de Olinalá, Guerrero, está constituida principalmente por conglomerados de clastos de esquistos y cuarzo metamórfico. Erben (1956) la describió como un conglomerado de matriz cuarcítica de colores gris y/o amarillento, compuesto por guijarros de cuarzo lechoso blanco, los cuales muestran diámetro entre 0.5 y 5 cm; también contiene guijarros de micaesquisto y gneises, aunque con menor frecuencia (González Torres, 1989). Contiene intercalaciones esporádicas de estratos delgados de limolitas y areniscas de grano fino. El espesor de dicha formación va de 30 a 200 m (González Torres, 1989). Existen varias propuestas sobre su edad; la asignada por Erben (1956) corresponde al Aaleniano-Bajociano; por su contenido palinológico, Jiménez y Rueda (2002 *in* Arellano-Gil et al, 2024) le asignan una edad de Pliensbachiano-Aaleniano.

El Grupo Tecocoyunca, de acuerdo con Erben (1956), muestra variedad litológica y de contenido fósil, por lo cual, el reconocimiento de las unidades en campo no es sencillo, debido a sus similitudes litológicas, tipo de estratificación, sus características petrofísicas, así como la falta de continuidad lateral. Fue descrito por Erben (1956) como un depósito continental clástico compuesto por las siguientes formaciones: Zorrillo, Taberna, Simón, Otatera y Yucuñuti. Dicho autor describió las tres primeras formaciones de la siguiente manera:

a) La Formación Zorrillo, que aflora al este de San Juan Diquiyú, Oaxaca, está constituida por areniscas de grano fino a medio y limolitas, con estratificación cruzada, con contenido de numerosos restos de plantas fósiles, lutitas carbonosas y mantos de carbón; en la región de Tlaxiaco se ha reportado que presenta

laminación flaser y bioturbación. Tiene concreciones calcáreas y hematíticas, en promedio de 5 a 20 cm, y generalmente se encuentran perforadas por organismos: presenta un incremento de limolitas en la parte superior de la unidad (González Torres, 1989). Presenta huellas de Dinosaurio conservadas como hiporrelieves convexos (Rodríguez de la Rosa et al, 2018). Su edad corresponde al Bajociano inferior.

b) La Formación Taberna aflora en la zona de Tezoatlán, al noreste de San Juan Diquiyú, compuesta de rocas clásticas de grano fino de edad Bajociano medio-Batoniano inferior (Erben, 1956). Se compone de lutitas y lutitas calcáreas de colores grises a pardos claros con contenido de concreciones fosilíferas calcáreo-hematíticas de color rojo vino y concreciones calcáreo-limoníticas de color amarillento de diámetros de 5 a 25 cm. Las lutitas contienen concreciones esferoidales calcáreas, de 1.5 a 5 cm de diámetro, perforadas por organismos fósiles. También contiene margas y algunos bancos aislados de calizas oscuras de textura fina y horizontes de limolitas de color gris a negro con icnofósiles.

c) La Formación Simón está constituida por areniscas de grano medio a grueso, de colores amarillentos o pardos, de estratificación mediana a gruesa. Contiene estratos de cuarzoarenitas de grano fino, de color claro. Presenta concreciones con diámetros de 20 a 25 cm, areniscas conglomeráticas y limolitas. A la mitad del espesor de esta formación, se encuentra un conglomerado de matriz cuarcítica, gris, con guijarros de cuarzo lechoso.

El análisis de las formaciones Zorrillo y Taberna representa un gran desafío en campo para su identificación debido a su similitud. Una diferencia que destacar es el tamaño de grano, siendo la de la Formación Simón más grande al igual que los estratos son más gruesos (Morán-Zenteno et al, 1993).

El Grupo Tecocoyunca superior fue nombrado y subdividido por Erben (1956) como formaciones Otatera y Yucuñuti. La primera es de edad Batoniano Superior y está constituida por areniscas de grano fino a medio, estratificación delgada y a su vez cruzada o diagonal. Además, contiene areniscas de grano fino cuarcíticas, limolitas y lodolitas de color pardo claro a beige, lutitas oscuras con concreciones calcáreo-hematíticas de color rojo vino y calcáreo-limoníticas de color pardo amarillento, así

como bancos ocasionales de calizas oscuras. Frecuentemente, son calizas oscuras y limolitas calcáreas con bancos de coquinas de *Ostrea* sp., de conchas negras.

La Formación Yucuñuti (Erben, 1956) se compone de “coquinas sueltas de *Ostrea* y de pelecípodos pequeños, especialmente de *Astarte* sp. y coquinas sueltas de *Cerithium*”. A veces contienen yeso en capas delgadas o concreciones calcáreas cuyos diámetros van de 10 a 30 cm (Durán Aguilar, 2014).

Área de Tlaxiaco

El registro estratigráfico que sobreyace al Complejo Acatlán, corresponde a la Formación Cualac y el Grupo Tecocoyunca.

La Formación Cualac se acumuló por una sucesión de abanicos aluviales, mientras que el Grupo Tecocoyunca, se depositó de un río meándrico con llanura de inundaciones, los cuales evolucionaron a un ambiente marino somero durante un evento transgresivo regional (Erben, 1956).

Los estudios paleontológicos describen contenido de flora fósil bien conservada (Lozano Carmona & Velasco de León, 2016), huellas de dinosaurios saurópodos y terópodos en los depósitos continentales en la base de la unidad (Rodríguez de la Rosa et al, 2018) y amonitas de edad Bajociano en los depósitos marinos de la cima de la unidad (Sandoval & Westermann, 1986).

Área de Tecomatlán

El área de Tecomatlán se ubica en el sur del estado de Puebla. Ha sido relacionada con la Formación Cualac y Grupo Tecocoyunca por la litología y contenido de materia orgánica correspondiente al Jurásico (Zepeda-Martínez, Martini, Solari, & Mendoza-Rosales, 2021).

Debido a la variación de los conglomerados expuestos con la Formación Cualac, Hernández Vulpes y Rodríguez Calderón (2012) proponen una nueva unidad informal denominada conglomerado Peña Colorada. Dichos autores sugieren que el registro estratigráfico expuesto en la región de Tecomatlán representaría el depósito de abanicos aluviales (Formación Cualac y Conglomerado Peña Colorada)

y de un río meándrico con su llanura de inundación (Grupo Tecocoyunca inferior).

Área de Olinalá

Los registros expuestos en el área de Olinalá consisten en sucesiones volcano-sedimentarias, similares a las expuestas en el área de Tezoatlán, Oaxaca.

Las rocas más antiguas consisten en una unidad denominada Ignimbrita Las Lluvias, conformada por tobas e ignimbritas de composición ácida a intermedia que afloran en una faja de 80 a 100 m de anchura y aproximadamente 9 km de longitud (Corona-Esquivel, 1981), son de color crema que por intemperismo pasan a ser amarillas-crema, están muy silicificadas y muestran estratificación; su inclinación es paralela con la del Conglomerado Cualac. Las tobas, de acuerdo con Corona-Esquivel (1981) son clasificadas como félsicas, con piroconsolidación. Estas rocas están sobreyacidas por depósitos clásticos fluviales de la Formación Cualac.

A los depósitos fluviales del Conglomerado Cualac los sobreyace un contacto concordante con depósitos fluviales a marinos someros los cuales, basados en similitudes litológicas, estratigráficas y paleontológicas, han sido asignados informalmente al Grupo Tecocoyunca (Corona-Esquivel, 1981; Zepeda Martínez, 2021).

Tipo de cuenca sedimentaria y su evolución

Durante la separación de Pangea, se formaron diferentes cuencas alrededor del mundo, por medio de procesos originados por esfuerzos que causan deformación por extensión y por cizalla (transformantes). Tal es el caso de la Cuenca de Tlaxiaco, uno de los ejemplos de cuencas de rift más grandes al sur de México (Figura 9) (Zepeda-Martínez, Martini, Solari, & Mendoza-Rosales, 2021).

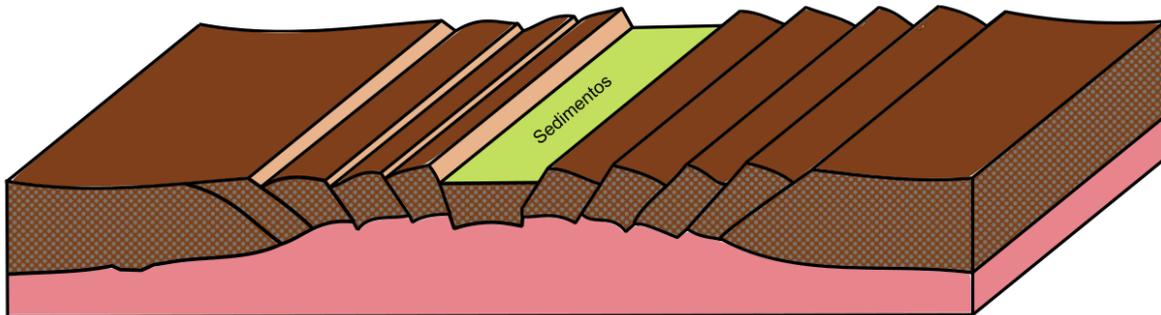


Figura 9. Configuración cortical de la etapa inicial de rift y formación de cuencas sedimentarias (Modificado de Di Castro Stringher, 2014).

De acuerdo con el análisis estratigráfico, los elementos estructurales y la evolución tectono-sedimentaria de la Cuenca de Tlaxiaco, durante el Jurásico inferior-medio estuvo influenciada por la actividad de dos fallas principales: la falla Río Salado-Axutla, de orientación WNW y la falla de Caltepec, de orientación NNW (Zepeda-Martínez, Martini, Solari, & Mendoza-Rosales, 2021), cuando ocurrió el depósito de la Formación Cualac y del Grupo Tecocoyunca.

La Formación Cualac representa el registro estratigráfico de un sistema de abanico aluvial producto de la erosión de rocas metamórficas de facies de esquistos verdes del Complejo Acatlán expuestas al norte de la cuenca de Tlaxiaco a lo largo de la falla del Río Salado-Axutla. Por otra parte, el Grupo Tecocoyunca inferior representa el registro estratigráfico del río Tlaxiaco, un río meándrico con barras locales en el medio del canal, y sus áreas adyacentes de llanura de inundación, procedentes de la erosión de rocas metamórficas de facies de granulita del Complejo Oaxaqueño, expuestas al este de la Cuenca de Tlaxiaco a lo largo de la falla de Caltepec con orientación NNW. Durante cierto tiempo, el sistema de abanicos y el río Tlaxiaco interactuaron, como lo sugiere el contacto estratigráfico transicional entre la Formación Cualac y el Grupo Tecocoyunca inferior (Zepeda Martínez, 2021), acumulados en una cuenca subsidente.

Evolución de la cuenca

De acuerdo a Erben (1956), Morán Zenteno et al. (1993), López Ticha (1985) y Zepeda-Martínez et al. (2021), esta cuenca se formó durante el Jurásico inferior-medio.

El trabajo de Zepeda-Martínez et al. (2021), considera que es un ejemplo representativo de cuencas de rift en el sur de México, formada por procesos extensionales y transformantes.

La extensión de dicha cuenca, sugerida por López Ticha (1985) es de aproximadamente 200 km. De acuerdo con Zepeda-Martínez y Martini (2024), la cuenca cubre un área de por lo menos ~150 x 60 km.

El límite oriental de la cuenca es la falla Caltepec, la que tiene una extensión kilométrica, con una orientación ~N-S desarrollada en el Pérmico, relacionado con la fase final de la consolidación de Pangea. El límite septentrional es representado

por la falla Río Salado-Axutla, que se extiende por ~ 80 km con una dirección ONO-ESE; esta estructura determinó el desarrollo de otro pilar tectónico, el cual bordeó a la cuenca de Tlaxiaco en el norte (Zepeda-Martínez & Martini, 2024).

De acuerdo con estudios geocronológicos, realizados por Durán Aguilar (2014), se han establecido dos edades geológicas significativas para comprender a la historia de la Cuenca de Tlaxiaco. El primer conjunto de datos se basa en secuencias magmáticas, donde se empleó el método de U-Pb en circones magmáticos, a partir de lo que se identificó un rango de edad que oscila entre 184 y 197 millones de años. Este fechamiento proporciona una ventana temporal para comprender la formación y evolución de las secuencias magmáticas en la región. El segundo conjunto de datos proviene de análisis de circones detríticos. Se obtuvo una edad máxima de 166.67 ± 9 millones de años, situando temporalmente estas secuencias en el Jurásico medio; con esta información se puede establecer la cronología de los depósitos detríticos en la Cuenca de Tlaxiaco y entender su relación con los eventos geológicos regionales y globales durante el Jurásico medio.

Sedimentología

Durán Aguilar (2014) definió de manera general a la sedimentología de la Cuenca de Tlaxiaco como un ambiente fluvial, cuyos elementos y cambios de facies están compuestos por barras de arenas, rellenos de canal, flujos de detritos y planicies de inundación. Además, identificó a las facies fluviales de acreción lateral, las cuales demuestran que el río que depositó dichas facies sedimentarias era de gran tamaño. De acuerdo con estos indicios, se agrupó en tres eventos importantes de sedimentación:

- 1) Flujo de escombros-abanicos aluviales.
- 2) Sistema fluvial de gran tamaño.
- 3) Depósitos de acreción lateral por migración.

Zepeda-Martínez (2021) definió y describió la sedimentología de la Formación Cualac y el Grupo Tecocoyunca inferior, con base en la propuesta de Miall (1996), para la clasificación de litofacies, de la siguiente manera:

Sedimentología de la Formación Cualac

- 1) Conglomerado masivo soportado por clastos (Gcm, por sus siglas en inglés), pobremente clasificado, clastosoportado y contiene clastos angulosos a subredondeados, con diámetros de centímetros a varios decímetros. No presenta un arreglo interno y se pueden observar troncos silicificados. La base de los estratos es planar no erosiva y localmente puede observarse una estructura canalizada. Esta litofacies se encuentra interestratificada con la litofacies de conglomerado masivo soportado por matriz.
- 2) Conglomerado masivo soportado por matriz (Gmm, por sus siglas en inglés): Los estratos muestran una geometría lenticular, cuyo espesor va de centímetros a metros. Se encuentra mal clasificado y es soportado por matriz, los clastos son angulosos a subredondeados, con diámetros de centímetros a decímetros. La matriz tiene una composición de arenisca gruesa a limolita. La base de Gmm es planar, sin rasgos de erosión. Se encuentra interestratificada con Gcm.
- 3) Conglomerado clasto-soportado con estratificación horizontal (Gh, por sus siglas en inglés). Está compuesta por depósitos conglomeráticos con estratificación de geometría lenticular, cuyo espesor es de decímetros a metros. La clasificación del conglomerado es mala y es soportado por clastos, los que tienen un diámetro de centímetros a decímetros, de redondez angulosa a subredondeados, llegan a presentar imbricación y se encuentran orientados con su eje mayor paralelo a la estratificación. En algunos afloramientos, la litofacies Gh muestra interestratificación con cuerpos lenticulares de arenisca, con espesores de centímetros a decímetros.
- 4) Conglomerado con estratificación cruzada planar (Gp, por sus siglas en inglés). Es la litofacies más representativa y abundante, está compuesta por estratos lenticulares de conglomerado con espesores de centímetros a metros; su continuidad lateral es de metros. El grado de clasificación es baja a moderada. Es soportado por clastos y su principal estratificación es cruzada planar, imbricación de clastos y gradación normal. La base de la estratificación erosiva y cóncava hacia arriba. La acreción de sedimentos forma paquetes de varios metros de espesor; este espesor disminuye

progresivamente hacia la cima de la unidad. La litofacies Gp se encuentra frecuentemente sobreyacida de manera transicional por las facies St y Sp.

- 5) Conglomerado con estratificación curvada (Gt, por sus siglas en inglés). Está constituida por depósitos lenticulares de conglomerado con espesor decimétrico a métrico y continuidad lateral de metros. La clasificación es mala; principalmente, está soportado por clastos. Su principal característica es la estratificación cruzada curvada y, localmente, gradación normal. La base de la estratificación es erosiva con geometría cóncava hacia arriba y son sobreyacidos de manera transicional por las litofacies Gp, St, Sp y Sr.
- 6) Arenisca con estratificación horizontal (Sh, por sus siglas en inglés). Esta litofacies solo se encuentra en la cima de la Formación Cualac. Está compuesta por estratos tabulares de arenisca de espesor centimétrico a decimétrico, y su continuidad lateral va de decenas a cientos de metros. Las areniscas son de grano fino a grueso, con laminación plano-paralela. Hacia su base, los depósitos de la litofacies Sh contienen intraclastos de lodolita. La base de la estratificación es erosiva y la sobreyacen de manera transicional, las litofacies St, Sp y Sr.
- 7) Arenisca con estratificación cruzada curvada (St, por sus siglas en inglés). Estratos lenticulares de areniscas de grano fino a muy grueso, con espesor de centímetros a decímetros, y la continuidad lateral va por decenas de metros. Se muestra estratificación principalmente cruzada curvada; su base es erosiva. La sobreyacen de manera transicional las litofacies Gt y Gp. A su vez, la litofacies St es sobreyacida transicionalmente por las litofacies Sp y Sr, o por las litofacies de grano fino Fl y Fsm.
- 8) Arenisca con estratificación cruzada planar (Sp, por sus siglas en inglés). El depósito es de areniscas de grano fino a muy grueso. Forma una configuración geométrica lenticular, cuyo espesor es de centímetros a decímetros. La acreción vertical de estos estratos forma paquetes con espesores métricos hacia la cima de la Formación Cualac. Los estratos tienen una continuidad lateral por decenas de metros. Las areniscas muestran típicamente estratificación cruzada planar y gradación normal. Los

estratos de la litofacies Sp presentan una base erosiva o sobreyacen de manera transicional a las facies Gt y Gp. La litofacies Sp es sobreyacida transicionalmente por la facies Sr o por las facies de granulometrías más finas FI y Fsm.

- 9) Litofacies de arenisca con rizaduras (Sr, por sus siglas en inglés). Muestran una geometría lenticular, cuyos espesores van de centímetros a decímetros. La sobreposición de los estratos genera paquetes de varios metros de espesor. Su continuidad lateral abarca de centímetros a decímetros. Los granos de la arenisca van de finos a medios y muestran una variedad de estructuras sedimentarias como rizaduras, laminación convoluta y estructuras de flama y carga. Frecuentemente, la litofacies Sr se encuentra interestratificada con las litofacies FI y Fsm.
- 10) Arenisca fina, limolita y lodolita con laminación plano-paralela inferior (FI, por sus siglas en inglés). Su presencia es poco abundante en la Formación Cualac, y se concentra principalmente en la parte superior de la unidad estratigráfica. Su estratificación tabular está constituida por arenisca de granos finos a muy finos, limolita y lodolita, con espesor centimétrico a decimétrico y con continuidad lateral de cientos de metros. La alternancia de estas litologías forma una estratificación heterolítica. La litofacies FI muestra laminación plano-paralela y, frecuentemente, presenta estructuras de fluidificación y deformación de sedimento blando como la laminación convoluta, estructuras de flama y carga, así como discos y pilares. Dicha litofacies muestra un abundante contenido paleontológico: es común encontrar moldes de hojas y ramas de plantas carbonizadas, raíces de plantas orientadas perpendicularmente a la estratificación y abundante bioturbación, tanto en la cima como en el interior de los estratos. Las rocas de la litofacies FI se encuentran interestratificadas con la litofacies Sr y, generalmente, sobreyacen transicionalmente a las litofacies Sp y Sr, y localmente, a las litofacies Gt y Gp.
- 11) Limolita y arcillolita (Fsm, por sus siglas en inglés). Se compone de estratos de limos y arcillas, no contienen estratos de areniscas.

De acuerdo con el espesor de los estratos que siguen una tendencia estrato-decreciente, un incremento en la abundancia de litofacies arenosas, es decir, una tendencia grano-decreciente hacia la parte superior de la unidad, aunado con un decremento en la actividad erosiva en la parte superior de la formación. Por ello, Zepeda-Martínez (2021) propuso un retroceso progresivo en el tiempo de los abanicos de la Formación Cualac.

Sedimentología del grupo Tecocoyunca inferior

En el grupo Tecocoyunca inferior, Zepeda (2021) identifica nueve facies, las que presentan las siguientes características:

- 1) Litofacies de arenisca fina, limolita y lodolita con laminación plano-paralela inferior (F1, por sus siglas en inglés) (Figura 10). Su presencia es abundante y está compuesta por estratos tabulares de arenisca de grano fino, limolita y lodolita, su espesor va de centímetros a varios metros. Su estratificación es heterolítica. Su continuidad lateral cubre kilómetros de distancia. La principal característica que presentan es laminación plano-paralela inferior, laminación y estratificación convoluta, así como estructuras de flama y carga. A su vez, se caracteriza por su alto contenido fósil con restos de plantas, fragmentos de troncos carbonizados, láminas de carbón, bioturbación, impresiones de raíces orientadas perpendicularmente a la estratificación, y localmente huellas de dinosaurios. Generalmente, la litofacies F1 cubre a las litofacies Gt, Gp y Sr.

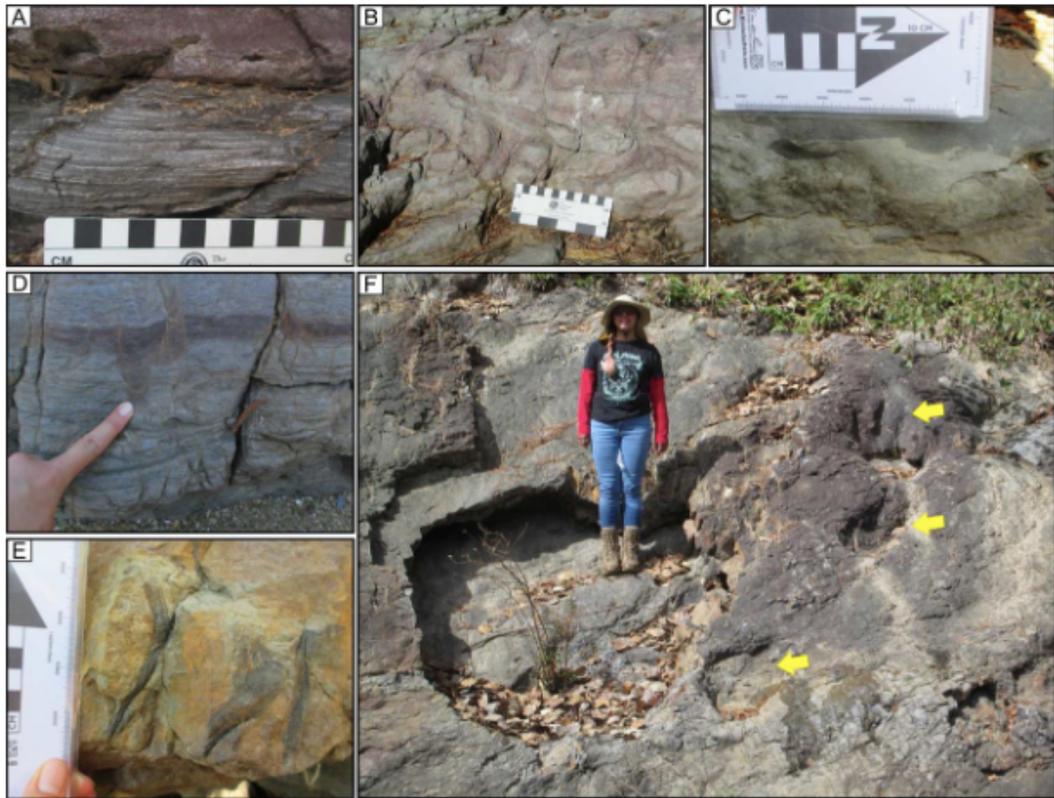


Figura 10. Litofacies de Arenisca Fina, Limolita y Lodolita con laminación plano-paralela inferior (FI) en el grupo Tecocoyunca inferior. A. Laminación heterolítica. B. Laminación convoluta. C. Estructuras de flama y carga. D. Bioturbación. E. Impresiones de raíces de plantas orientadas perpendicularmente a la estratificación. F. Huellas de dinosaurios señaladas por las flechas amarillas. Imágenes de Zepeda-Martínez (2021).

- 2) Litofacies de limolita y arcillolita (Fsm, por sus siglas en inglés). Presenta rasgos similares a la litofacies FI en cuanto a espesores y estructuras primarias, pero con ausencia de estratos y láminas de areniscas.
- 3) Litofacies de areniscas con rizaduras (Sr, por sus siglas en inglés). Sus estratos son tabulares de arenisca de grano fino a medio, con un espesor que va de centímetros hasta algunos metros. Su principal característica es la presencia de rizaduras y localmente, laminación convoluta y estructuras de carga y flama. Esta litofacies se encuentra interestratificada con las litofacies FI y Fsm, y cubre transicionalmente a las facies St y Sp.
- 4) Litofacies de carbón (C, por sus siglas en inglés). Constituida por estratos de carbón y lodolita carbonosa con espesor centimétrico a métrico. Su

continuidad lateral abarca cientos de metros. Se encuentra interestratificada con las litofacies Fl y Fsm.

- 5) Litofacies de arenisca con estratificación cruzada curvada (St, por sus siglas en inglés). Su presencia es poco abundante. Está compuesta por estratos lenticulares de areniscas de granulometría fina a muy gruesa. Presenta típicamente laminación cruzada curvada (Figura 11). Los espesores de los estratos van de centímetros a metros y son continuos lateralmente por algunos metros. Localmente, se observan intraclastos de lodolita en la base del estrato. Los depósitos de esta litofacies poseen una base erosiva y cambian gradualmente hacia la cima a las litofacies Sp y Sr.
- 6) Litofacies de arenisca con estratificación cruzada planar (Sp, por sus siglas en inglés). Su presencia es poco abundante en el grupo Tecocoyunca inferior (Figura 10). Su estratificación es lenticular, con espesores decimétricos de arenisca y continuidad lateral de metros. El apilamiento de dichos estratos genera paquetes de varios metros de espesor. La arenisca está compuesta por granos finos a gruesos, con estratificación cruzada planar. Los depósitos de esta facies poseen una base erosiva y sobreyacen transicionalmente a los depósitos de la facies St, Gt o Gp. Están cubiertos gradualmente por las litofacies Sr, Fl y Fsm.

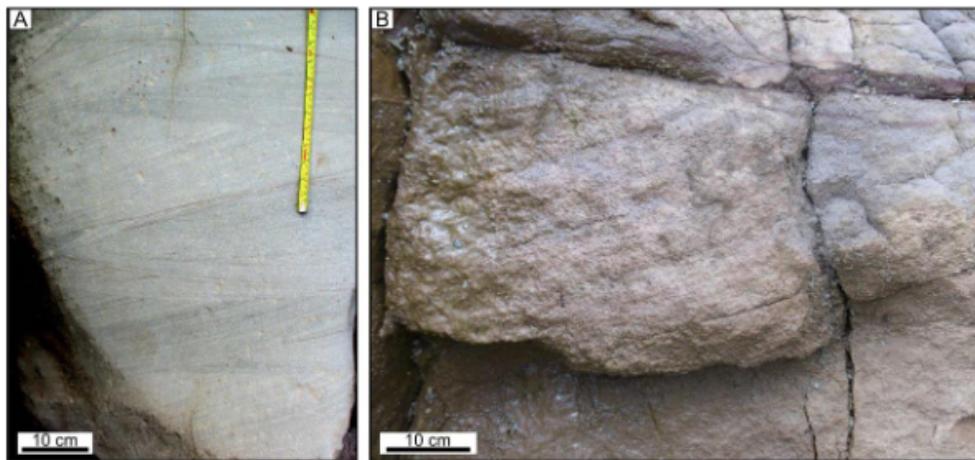


Figura 11. Litofacies de Arenisca con Estratificación Cruzada Curvada (A) y Litofacies de Arenisca con Estratificación Cruzada Planar (B) en el grupo Tecocoyunca inferior. Imágenes de Zepeda-Martínez (2021).

- 7) Litofacies de arenisca con estratificación horizontal (Sh, por sus siglas en inglés). Su presencia es abundante y está conformado por estratos tabulares de arenisca con espesores de centímetros a decímetros y continuidad lateral de decenas de metros. Los granos de las areniscas van de granos medios a gruesos, y típicamente presentan laminación plano-paralela. Localmente, se observan intraclastos de lodolita en su base. Los depósitos de Sh tienen una base erosiva y son cubiertos transicionalmente por litofacies arenosas St, Sp y Sr.
- 8) Litofacies de conglomerado con estratificación cruzada curvada (Gt, por sus siglas en inglés). Su presencia es poco abundante. Está conformada por estratos lenticulares de conglomerados soportados por clastos bien redondeados, con un grado de clasificación muy bueno. Una característica típica de Gt es la estratificación cruzada curvada. La base de la litofacies Gt es erosiva y el contacto superior es gradual con la litofacies St y Sp.
- 9) Litofacies de conglomerado con estratificación cruzada planar (Gp, por sus siglas en inglés). Su presencia es poco abundante. Está constituida por estratos lenticulares cuyo espesor va de centímetros a metros, su continuidad lateral es de metros. El grado de clasificación del conglomerado es bueno y se caracteriza por su estratificación cruzada planar. La base de la litofacies Gp es erosiva y, en algunos casos, cubre de manera transicional a la litofacies Gt. El contacto superior es gradual con las litofacies St y Sp.

De acuerdo con Zepeda-Martínez (2021), el conjunto de litofacies del grupo Tecocoyunca inferior muestra características tridimensionales formando la arquitectura descrita en la Tabla 1.

Elementos arquitectónicos del grupo Tecocoyunca inferior		
Elemento arquitectónico	Descripción	Interpretación
Depósito de finos de llanuras de inundación (FF,	Alternancia rítmica de las litofacies FI, Fsm, C y Sr, que en conjunto forman cuerpos tabulares de decenas de metros,	Depósito de eventos de desborde e inundación de las zonas aledañas a los canales fluviales.

por sus siglas en inglés)	<p>con continuidad lateral de cientos de metros.</p> <p>En la cima se observa una superficie de erosión de cuarto orden o superior en contacto con LA, DA y CS.</p> <p>En el límite inferior se encuentra un contacto transicional con LA, DA y CS.</p>	
Depósito de Crevasse-Splay (CS, por sus siglas en inglés)	<p>Cuerpos arenosos compuestos por depósitos con geometría clinoforme. Cada clinoforme está delimitado por superficie de acreción de tercer orden con inclinaciones de ~10-15°. Está conformado por una sucesión grano-decreciente, la cual muestra de base a techo la sucesión de litofacies Gt, Gp, St, Sp y Sr. La base del elemento CS es una superficie planar y erosiva de cuarto orden, mientras que el contacto superior es transicional con el elemento FF.</p>	<p>Depósito de acreción frontal, formando cuerpos con geometrías de abanico, los cuales se forman durante eventos de desborde por el rompimiento de los diques naturales que bordean los canales.</p>
Depósito de Acreción Lateral (LA, por sus siglas en inglés)	<p>Conjunto de clinoformes predominantemente arenosos, los cuales llegan a formar cuerpos de hasta 11 m de espesor. Los clinoformes están delimitados por superficies de acreción de tercer orden y presentan una inclinación de ~20°. A su vez, están compuestos por una sucesión grano-decreciente, con las litofacies Gt y Gp en la parte inferior, las St y Sp en la parte intermedia, y la Sr en la parte superior.</p>	<p>Las paleocorrientes medidas en las litofacies Gt, Gp, St y Sp del elemento LA, muestran direcciones subortogonales al echado de los clinoformes (NE, NW y SE), lo cual es un indicador de las barras de acreción lateral.</p>
Macroformas de Acreción Frontal	<p>Geometría y asociación de facies similares al elemento de acreción lateral, con la diferencia de que el echado de los clinoformes presenta un ángulo entre 0 y 60° con la dirección de paleocorrientes.</p>	<p>Característica típica de barras de arena formadas en la parte interna de los canales fluviales y cuyo crecimiento ocurre en la dirección de la corriente.</p>

Tabla 1. Elementos arquitectónicos del grupo Tecocoyunca inferior (basado en Zepeda-Martínez, 2021).

Estratigrafía de la Cuenca de Tlaxiaco

En las áreas de Tezoatlán, Tecamatlán y Olinalá se observa la distribución estratigráfica de diversas unidades estratigráficas clave, tal es el caso de la Formación Diquiyú, Rosario, el Conglomerado Cualac y el Grupo Tecocoyunca, en el área de Tezoatlán compuestas por rocas volcánicas, conglomerados y calizas. En Tecamatlán, el Conglomerado Peña Colorada, considerado una variación de la Formación Cualac, formado por clastos metamórficos asociados a abanicos aluviales. En Olinalá, la secuencia incluye las Ignimbritas Las Lluvias, la Formación Cualac y el Grupo Tecocoyunca, vinculadas a una transgresión marina.

En la Figura 12 se esquematizan las formaciones mencionadas y su distribución a lo largo del tiempo geológico, revelando la edad propuesta por diferentes autores y sus relaciones estratigráficas.

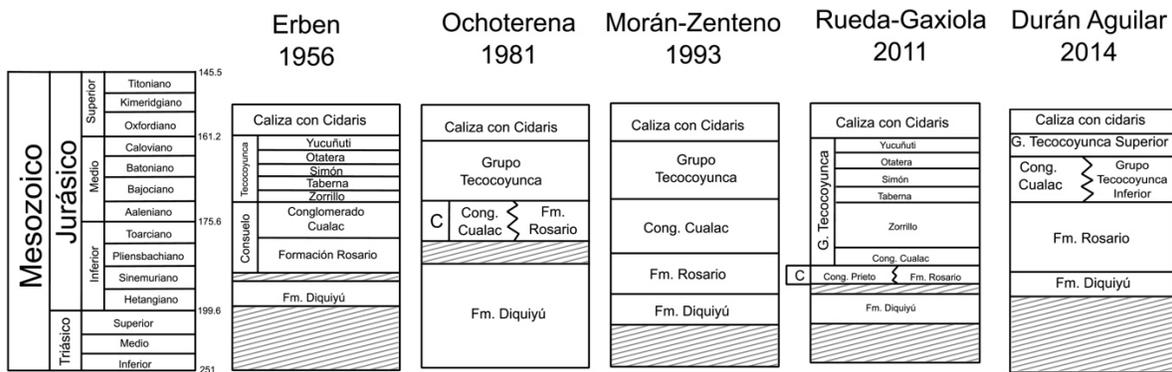


Figura 12. Propuestas cronoestratigráficas de las sucesiones volcano-sedimentarias del Jurásico en el sur de México que formaron la Cuenca de Tlaxiaco y su evolución por diferentes autores. C= Grupo Consuelo (Modificado de Durán Aguilar, 2014).

Área de Tezoatlán

Existen diversos estudios que describen la estratigrafía del área. A continuación, se describen a grandes rasgos las características de las cuatro unidades más representativas del área.

1) Formación Diquiyú

La Formación Diquiyú se encuentra en la parte inferior de la escala cronoestratigráfica (Figura 12) siendo la formación más antigua de la Cuenca de Tlaxiaco, a su vez, subyace a la Formación Rosario con un contacto discordante erosional. El espesor de la secuencia no se encuentra expuesto, sin embargo, de acuerdo con un pozo de exploración de carbón, fueron reportados 62 m de espesor

(Cortez-Obregón et al, 1957 *in* Morán-Zenteno et al, 1993). En cuanto a las relaciones estratigráficas laterales, no hay información, ya que el registro pudo ser cubierto por la actividad volcánica local o bien erosionado (González Torres, 1989). De acuerdo con un estudio realizado en la zona de San Juan Diquiyú (Morán-Zenteno et al,1993), este cuerpo está compuesto por flujos volcánicos y rocas piroclásticas de composición intermedia (andesítica-basática) y también flujos riolíticos. La mayoría de estas rocas presenta alteración hidrotermal. Las rocas de composición intermedia presentan textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, junto con piroxenos y cuarzos alterados (Morán-Zenteno et al,1993). La Formación Rosario presenta estratificación y algunos niveles con escasas concreciones. La estratificación va de delgada a gruesa, predominando la delgada. El contacto inferior con la unidad Diquiyú corresponde a una discordancia, el contacto superior con la formación del Conglomerado Cualac es concordante y transicional. En cuanto a las relaciones estratigráficas horizontales, se ha sugerido que la Formación Rosario y el Conglomerado Cualac, de acuerdo con su contenido fósil, corresponden a la misma edad y, por lo tanto, se encuentran interdigitadas (González Torres, 1989).

Esta secuencia está constituida por un conglomerado oligomítico de clastos andesíticos, aparentemente provenientes de la Formación Diquiyú. Sobre este hay estratos de arenita lítica con intercalaciones de limolita pobremente consolidada y lutita amarillosa-verde, con algunas capas de carbón. Algunas de las capas muestran un alto contenido de paleoflora, y algunas estratificaciones presentan contenido de clastos de naturaleza volcánica. Los clastos dentro de la arena lítica son volcánicos y metamórficos. El espesor de esta secuencia se encuentra en un rango de 100-250 m (Morán-Zenteno et al,1993).

2) Conglomerado Cualac

El Conglomerado Cualac sobreyace a la Formación Rosario por medio de un contacto concordante y transicional, pero en regiones como Tlaxiaco y Olinalá sobreyace en discordancia al Complejo Acatlán. El contacto superior con la unidad Tecocoyunca inferior es concordante y transicional y/o abrupto.

Las relaciones estratigráficas horizontales presentan una variación textural en la granulometría de los clastos, siendo más gruesos en la zona oriental y más finos en la zona occidental que corresponde a la zona de escarpes, la cual corre de manera paralela a Yucuquimi de Ocampo (González Torres, 1989).

Está constituida por un conglomerado ortocuarcítico mal clasificado interestratificado con arenisca lítica, arenisca conglomerática y limolita. La unidad presenta una geometría lenticular, con un espesor máximo de 150 m (Morán-Zenteno et al,1993).

3) Grupo Tecocoyunca inferior (formaciones indiferenciadas Zorrillo-Taberna-Simón, *sensu* Erben ,1956)

Sobreyace al conglomerado Cualac con un contacto concordante y transicional al igual que el contacto superior, determinado por la aparición de coquinas negras y un incremento de material calcáreo.

En cuanto a las relaciones estratigráficas horizontales se interpreta como facies continentales al norte, en la región de Petlalcingo-Texcalapa y en la zona sur se observan relaciones estratigráficas, cuyas secuencias muestran características palustres, predominando lodolitas y lutitas (González Torres, 1989).

Está compuesta por una capa de cuarzoarenisca en el contacto con la Formación Cualac, seguido de una arenisca lítica y arenisca sublítica con interestratificación de limolita, lutita, lentes de carbón y algunas capas de concreciones calcáreo hematíticas y de limo. En medio de la formación se encuentran estratos de caliza esparítica con interestratificación de lutitas y limolitas. La parte superior es detrítica, con areniscas y menor abundancia de limolita y lutita. El espesor del grupo Tecocoyunca inferior se encuentra en un rango de 150 a 280 m (Morán-Zenteno et al,1993).

4) Grupo Tecocoyunca superior (formaciones indiferenciadas Otatera y Yucuñuti)

Esta unidad sobreyace de manera concordante a la unidad grupo Tecocoyunca inferior, siendo un contacto transicional hacia coquinas de color negro con un incremento de material calcáreo. El contacto superior es aparentemente concordante y transicional con la Caliza con *Cidaris*. El contacto entre las

formaciones Otatera y Yucuñuti es estratigráfico, lento y transicional poco perceptible. En cuanto a las relaciones estratigráficas horizontales se observa un engrosamiento de las unidades hacia el sur (González Torres, 1989).

Este grupo está compuesto por areniscas, calizas micríticas, horizontes de caliza esparítica y arenosa, y estratos de coquinas; el espesor de esta porción se encuentra en un rango de 50 a 200 m (Morán-Zenteno et al, 1993).

Área de Tecomatlán

Los límites este, oeste y norte del área se encuentran delimitados por el Complejo Acatlán, mientras que, el borde sur, el registro estratigráfico jurásico está cubierto por rocas volcánicas del Cenozoico.

Dentro de dicha área, se encuentra un depósito clástico, cuyas características han sido relacionadas tentativamente con la Formación Cualac y el Grupo Tecocoyunca. Hernández-Vulpes y Rodríguez Calderón (2012) lo nombraron informalmente como conglomerado Peña Colorada, el cual se considera como una variación composicional de la Formación Cualac.

Dicha unidad está compuesta por la intercalación de conglomerados gruesos y conglomerados finos, en su parte basal se encuentran clastos de cuarzo metamórfico blanco, cuyos diámetros van de 0.05 a 25 cm, son angulosos a subangulosos, su abundancia es del 60%. También hay clastos de esquisto con diámetros que van desde 1.5 a 12 cm, con una abundancia del 30%, su matriz es de arena fina con una abundancia del 10% (Hernández Vulpes & Rodríguez Calderón, 2012).

En la parte superior se observa un conglomerado fino. Está constituido por cuarzo metamórfico blanco lechoso; sus clastos tienen un diámetro de 0.5 a 2 cm y una redondez de angulosa a subangulosa, su abundancia es del 40%. También contiene clastos de esquistos angulosos a subangulosos con diámetros de 0.1 a 6 cm, con una abundancia del 30%. En menor proporción, tiene clastos de gneiss, subangulosos con diámetros de 0.5 a 4 cm, que representan un 10% de abundancia. La matriz tiene una abundancia del 20% (Hernández Vulpes & Rodríguez Calderón, 2012).

De acuerdo con las características sedimentológicas, su origen se atribuye al depósito de abanicos aluviales (Cualac y Conglomerado Peña Colorada) y de un río meándrico con su llanura de inundación (Grupo Tecocoyunca Inferior).

El espesor de la unidad Peña Colorada, medido al occidente del poblado Peña Colorada, es de 56.9 m. En cuanto a su relación estratigráfica, el contacto inferior es discordante con el basamento metamórfico y concordante con la Formación Cuxtepeque, mientras que su contacto superior se deduce concordante y transicional con la Formación Tecamazuchil (Hernández Vulpes & Rodríguez Calderón, 2012).

Área de Olinalá

Su registro consiste en una sucesión vulcanosedimentaria formada por tobas e ignimbritas, expuestas a lo largo de 9 km de longitud, nombrada informalmente Ignimbrita Las Lluvias, el depósito más antiguo de la sucesión jurásica, sobreyacida por la Formación Cualac y Grupo Tecocoyunca (Corona-Esquivel, 1981).

Los depósitos fluviales de la Formación Cualac están sobrepuestos de manera concordante por depósitos transicionales y marinos someros, los cuales han sido asignados informalmente al Grupo Tecocoyunca, debido a sus similitudes litológicas, estratigráficas y paleontológicas (Corona-Esquivel, 1981; Marshall, 1986; García-Díaz, 2004 *in* Zepeda-Martínez, 2021).

A diferencia de Tezoatlán, donde los datos sugieren que la transgresión marina comenzó en el Bajociano superior (Sandoval y Westermann, 1986; Pieńkowski et al, 2019 *in* Zepeda-Martínez, 2021), la edad de las amonitas en la sucesión marina del grupo Tecocoyunca superior en Olinalá indican que la transgresión inició en el Bathoniano y continuo en el Calloviano (Westermann et al, 1984; Marshall, 1986 *in* Zepeda-Martínez, 2021).

Geología estructural

La Cuenca de Tlaxiaco se encuentra dominada por dos sistemas importantes de fallas regionales: la falla del Río Salado-Axutla y la falla de Caltepec, las que presentan las siguientes características:

- 1) Falla del Río Salado-Axutla (orientación WNW). Está expuesta al sur de Huajuapán de León, Oaxaca y se extiende a lo largo de ~25 km de Tecamatlán a Axutla. Representa el límite entre las rocas metamórficas paleozoicas del Complejo Acatlán con rocas sedimentarias mesozoicas; es una falla cortical de larga vida, la cual presenta evidencia de dos eventos de reactivación bajo diferentes condiciones tectónicas en el Mesozoico y Cenozoico. De acuerdo con análisis de los indicadores cinemáticos, se determinó un movimiento lateral izquierdo durante el Jurásico inferior. El primer evento de deformación ocurrió en condiciones de alta presión y temperatura, generando una deformación dúctil; el evento es asociado con el proceso de rifting del Proto-Golfo de México. El segundo proceso de reactivación ocurrió en una zona bajo condiciones cercanas a la superficie, lo cual produjo una deformación frágil, fragmentando las estructuras formadas anteriormente (Martiny et al, 2012; Zepeda-Martínez, 2021).

- 2) Falla de Caltepec (orientación NNW). Expuesta a lo largo de 20 km, en los estados de Puebla y Oaxaca, cerca del pueblo Caltepec. Es una estructura cortical de larga vida, con evidencias de deformación dúctil y frágil. Se presenta como el límite tectónico entre los complejos Oaxaqueño y Acatlán, basamentos cristalinos de los terrenos Oaxaqueño y Mixteco, respectivamente. Se interpreta como partes de un sistema estructural sincrónico y dinámicamente acoplado que estuvo liberando esfuerzos tectónicos desde el Jurásico hasta el Holoceno. Su evento más antiguo de activación está relacionado con una colisión oblicua entre los bloques continentales Oaxaqueño en su porción meridional (Complejo Oaxaqueño) y Mixteco (Complejo Acatlán). Durante el Pérmico temprano, este evento formó parte de un frente de colisión entre Laurentia y Gondwana, que concluyó con la consolidación de Pangea. Aproximadamente hace 265 Ma, quedó expuesta en superficie y continuó experimentando actividad tectónica intermitente durante el Mesozoico,

relacionada con la fragmentación de Pangea, debido a su paralelismo con la falla Oaxaca, distante a decenas de kilómetros al oriente de la falla Caltepec (Elías-Herrera et al, 2005; Zepeda-Martínez, 2021).

Contenido paleontológico

El contenido paleontológico es variado, teniendo los siguientes fósiles representativos:

- 1) Formación Rosario. En el estado de Guerrero, se observa una litología siliciclástica con coquinas de pelecípodos del género *Ostrea*. Se considera una formación depositada en ambiente continental y representa facies de relleno del aulacógeno, con desarrollo de ambiente palustres y de llanuras de inundación (Buitrón Sánchez & Jiménez López, 2024). Por otro lado, en el estado de Oaxaca se han reportado plantas fósiles, destacando los órdenes de las cycadopsidas o bennetiales (Morán-Zenteno et al, 1993) también se identificaron pelecípodos (*Ostrea*) y una amplia diversidad de plantas, entre ellas *Otozamites*, *Pterophyllum*, *Williamsonia*, *Ptilophyllum*, *Stangerites*, *Trigonocarpus*, *Rhabdocarpus*, *Pelourdea*, *Araucarioxylon*, *Cycadolepsis*, *Cladophlebis*, *Coniopteris*, *Dicksonia*, *Piazopteris*, *Araucarioxylon*, *Anomozamites*, *Macrotaeniopteris*, *Mexiglossa varia*, *Pelourdia* sp. y *Piazopteris*, pertenecientes a un ambiente continental palustre (Ham Wong, 1982 in Buitrón Sánchez & Jiménez López, 2024). Se propone que se desarrollaron en llanuras de inundación (Buitrón Sánchez & Jiménez López, 2024).
- 2) Conglomerado Cualac. En el área de Tezoatlán se reportó la presencia de *Williamsonia cuatemoci* y *Otozamites graphicus* en las intercalaciones de areniscas con limolitas. También se reportaron restos de flora no identificada, debido a que la naturaleza de las rocas no permite la conservación de restos fósiles (González Torres, 1989).
- 3) Grupo Tecocoyunca Inferior (formaciones indiferenciadas Zorrillo-Taberna-Simón). En el estado de Oaxaca, Carrasco-Ramírez (1981 in Arellano-Gil et al, 2021) menciona la presencia de pelecípodos como *Lucina*, *Astarte*, *Vaugonia* y *Trigonia* en la Formación Zorrillo. La flora fósil está constituida de

cicadofitas, siendo comunes los géneros *Zamites*, *Williamsonia*, *Pterophylum* y *Otozomites* (González Torres, 1989). En las secuencias sedimentarias marinas, se encuentran moluscos como *Parallelodon*, *Mytilus*, *Trigonia*, *Myophorella*, *Vaugonia*, *Opis*, *Thracia* y *Anatina* (Alencáster-Ybarra, 1963 in Arellano-Gil et al, 2021). En el estado de Guerrero se identificaron a las amonitas *Dactylioceras*, *Leptosphinctes*, *Oppelia*, *Parastrenoceras mixteca*, *P. mixteca mixteca*, *P. mixteca zapoteca*, *P. oaxacanum* y *P. tlaxiacense*, *Phaulostephanus burckhardti*, *Stephanoceras*, *Subcollina lucretia* y *Stephanosphinctes buitroni* (Erben, 1956; Ochoterena, 1963; Westermann, 1981; Sandoval y Westermann, 1986 in Buitrón Sánchez & Jiménez López 2004)

- 4) Grupo Tecocoyunca Superior (formaciones indiferenciadas Otatera y Yucuñuti). En el estado de Oaxaca, las primeras unidades marinas del Jurásico Superior corresponden a la Formación Otatera, en la cual se han recolectado ejemplares de moluscos *Eocallista*, *Pleuromya* y *Crenotrapezium*, así como ostreidos y la amonita *Epistrenoceras*. En la misma unidad, Alencáster-Ybarra (1963 in Arellano-Gil et al, 2021) identificó un conjunto de moluscos conformado por los géneros *Parallelodon*, *Mytilus*, *Eocallista* y *Crenotrapezium*. Por otro lado, en la Formación Yucuñuti, Erben (1956 in Arellano-Gil et al, 2021) registró la presencia de bivalvos de los géneros *Ostrea*, *Astarte* y al gasterópodo *Cerithium*. Posteriormente, Alencáster (1963 in Arellano-Gil et al, 2021) identificó moluscos de los géneros *Volsella*, *Mytilus*, *Inoceramus*, *Lima*, *Vaugonia*, *Astarte*, *Eomiodon*, *Anisocardia*, *Isocardia*, *Lucina*, *Unicardium*, *Cardium*, *Corbula*, *Pholadomya* y *Thracia*. Carrasco-Ramírez (1981 in Arellano-Gil et al, 2021) mencionó la presencia de las amonitas *Arnioceras mendaxoides* y *Ataxioceras*, así como a los bivalvos *Gryphaea*, *Lucina* y *Purpuroide*.

En cuanto a la Formación Yucuñuti, el área de Tezoatlán contiene amonitas entre las que destacan *Epistrenoceras* (género que define el alcance estratigráfico inferior), *Euricephalites*, *Lillgettia* y *Neugueniceras* (González Torres, 1989). Finalmente, la caliza con *Cidaridites* del Jurásico Superior, se

considera de gran relevancia. Dicha unidad está compuesta por caliza cristalina, lutita, lutita calcárea, calcarenita, biomicrita y biomicrita con intraclastos y numerosos equinoideos de las especies *Cidaris submarginata*, *C. florigemma*, *Cidaris* cf. *C. baloensis*, *C. bradfordensis*, *C. florigema*, *Polycyphus delongchompsi*, *Pedina* (*P.*) *sublaevis*, *Heterosalenia tlaxiacensis*, *Pseudocidaris* cf. *P. quenstedti* *Acrocidaris nobilis*, *Stomechinus semiplacenta* y *Pseudodiadema*; pelecípodos de las especies *Astarte microphytes*, *Gryphaea mexicana*, *Lima comatulicosta*, *Lima* (*Plagiostoma*) sp., *Ostrea* sp., *Trigonia sologureni*, *Exogyra spiralis*, *Exogyra* cf. *E. trychodes*, *E. subplicifera* y *E. ptychodes*; así como los braquiópodos *Parathyridina mexicana*, *P. mexicaria quadriplicata*, *Rhynchonella* sp., *Sellithyris subsella* y *Animonithyris dorenbergi*. (Erben, 1956; Buitrón-Sánchez, 1970; Carrasco-Ramírez et al, 2016 *in* Buitrón Sánchez & Jiménez López, 2024).

Evolución geológica

La cuenca de Tlaxiaco se desarrolló sobre el Terreno Mixteco, el cual, durante el Paleozoico, se encontraba ocupado por una plataforma marina y sedimentos clásticos y calcáreos. Durante el Carbonífero, esta plataforma se extendió al oeste del Terreno Oaxaca y podría haber estado limitada al este por una tierra emergida durante el Carbonífero superior, lo cual explicaría la acumulación de sedimentos fluviales. En el Paleozoico superior, los sedimentos se depositan sobre una extensa región ocupada al oeste por el Complejo Acatlán y el plutón Totoltepec y hacia el este por el Complejo Oaxaqueño (Morán-Zenteno et al, 1993).

Al inicio del Mesozoico, cuando comenzó la fragmentación de Pangea, México ocupaba la margen ecuatorial occidental de este supercontinente. La península de Yucatán estaba ubicada más al norte, cerca de las costas meridionales de los estados actuales de Texas y Luisiana, con una orientación aproximada de 45°-60° en sentido horario con respecto a su posición actual. Además, el sur de México probablemente se encontraba en una posición más noroccidental comparada con la actual (Zepeda-Martínez y Martini, 2024).

Dicha configuración paleogeográfica fue modificada de manera progresiva en el Jurásico. En particular, la extensión tectónica fue acomodada por fallas corticales con orientaciones preferenciales ~NO-SE y ~N-S, generando una topografía compleja, formando cuencas bordeadas por bloques de basamento continental, los cuales representaron la fuente de las sucesiones clásticas depositadas en la depresión cortical (Zepeda-Martínez y Martini, 2024).

Durante el Mesozoico se depositaron las secuencias estratigráficas en la Cuenca de Tlaxiaco, siendo la Formación Rosario su base. Esta formación está constituida por sedimentos detríticos de origen continental y horizontes de carbón. De acuerdo con algunas propuestas (Erben, 1956), estos sedimentos fueron depositados en un ambiente pantanoso que se desarrolló en el Jurásico inferior en el noreste de Oaxaca (Arellano-Gil et al, 2021).

Una característica importante del área de estudio es la ausencia de registro geológico correspondiente al Triásico inferior, probablemente debido a un largo periodo de emergencia, deformación y erosión. El primer indicador de un cambio en el régimen de erosión son las secuencias sedimentarias de la Formación Rosario, asignadas al Toarciense-Aaleniano. Esta unidad es sobreyacida por una capa de sedimentos compuestos de cuarzo del Conglomerado Cualac, el que cuenta con una geometría lenticular. El conglomerado de la Formación Rosario sugiere un ambiente fluvial de alta energía, con fragmentos clásticos, originados de la unidad andesítica de San Juan Diquiyú. Esta unidad inferior fue probablemente acumulada simultáneamente con el desarrollo del horst y graben. La parte superior de grano fino de la Formación Rosario sugiere amplios valles, con abundante materia orgánica a partir de la cual se formaron las capas de carbón (Morán-Zenteno et al, 1993).

Sobre la Formación Rosario descansa el conglomerado Cualac, perteneciente al Aaleniano y Bajociense. En estos periodos, las fallas normales fueron reactivadas incrementando el contraste en los relieves y produciendo los clastos de cuarzo del Conglomerado Cualac (Morán-Zenteno et al, 1993). Por otro lado, la geometría lenticular de dicha formación sugiere un depósito de abanicos fluviales en un clima cálido, cuyos bordes distales pudieron evolucionar a facies de ríos trenzados. De

acuerdo con el decremento del espesor de los estratos, el incremento en arenas y el decremento en la actividad erosiva en la parte superior de la formación, existió un retroceso progresivo en el tiempo de los abanicos de la Formación Cualac (Zepeda Martínez, 2021).

Posteriormente, en el Bajociano-Batoniano, se depositaron sedimentos detríticos y carbonatados, tanto continentales como marinos, con presencia de plantas fósiles y amonitas, indicadores de diferentes eventos de regresión y transgresión marina. A dicho conjunto de sedimentos se les nombró Grupo Tecocoyunca y fue depositado durante el Jurásico medio (Arellano-Gil et al, 2021). El primer flujo marino se encuentra representado por la Formación Taberna en el centro de grupo Tecocoyunca, el cual provino del sur. Los flujos marinos se volvieron más frecuentes después del Batoniano superior en las áreas de Tezoatlán, Tlaxiaco y Olinalá (Morán-Zenteno et al, 1993).

Las formaciones marinas del Grupo Tecocoyunca, las cuales se encuentran en el oeste de Oaxaca y el este de Guerrero, junto con el carácter continental típico de la secuencia del Jurásico medio en el este de Oaxaca y la falta de registro jurásico en los estados de Guerrero y Morelos, indican que el graben activo que anteriormente estaba ocupado por un sistema fluvial, evolucionó hacia un estuario, desarrollando después de las primeras transgresiones marinas desde el Océano Pacífico. La presencia de amonitas con afinidad del Pacífico en capas Callovianas del área de Olinalá, fundamentan la idea de una conexión entre el océano Pacífico y el estuario. Una de las hipótesis más aceptadas para fundamentar la diversidad de contenido faunístico en las formaciones del Jurásico Inferior se puede explicar con un mar como el Tethys, el cual se extendió de Europa-África Occidental a América del Sur en la cuenca Andina, dejando aparte la zona oriental de México como un golfo especial al norte, con menos intercambio faunístico. América Central en ese entonces pudo funcionar como un elemento paleogeográfico alto, el cual separaba la zona mexicana de los mares mediterráneos-andinos (López Ramos, 1981).

Por otro lado, los registros magnéticos y la fábrica de las rocas en la Formación Tecomazúchil confirman una pendiente paleogeográfica general hacia el sur-suroeste, durante el depósito de esta formación (Morán-Zenteno et al, 1993).

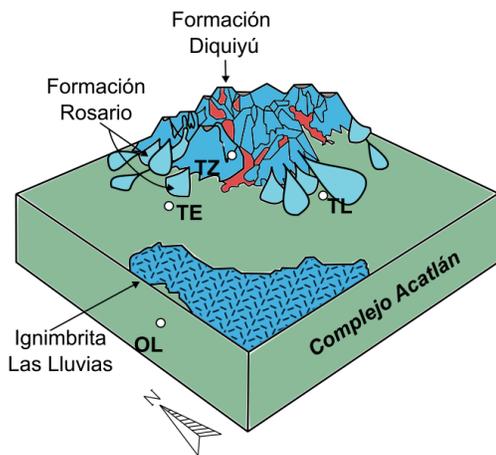
Las direcciones paleomagnéticas del granito Totoltepec del Paleozoico superior y otras unidades sedimentarias del Terreno Mixteco, sugieren un desplazamiento de norte a sur. Sin embargo, los resultados paleomagnéticos de las rocas del Jurásico, del mismo terreno, muestran un grupo sistemático de inclinaciones las cuales sugieren que esta región, incluidos los Terrenos Mixteco y Oaxaca, los cuales estaban originalmente localizados hacia el noroeste de su posición actual con respecto a América del Norte (Morán-Zenteno et al, 1993).

En algunas zonas de la cuenca, durante el Jurásico superior, se depositaron sedimentos marinos como la caliza con *Cidaris* en el área de Mixtepec-Tlaxiaco (Erben, 1956; Arellano-Gil et al, 2021).

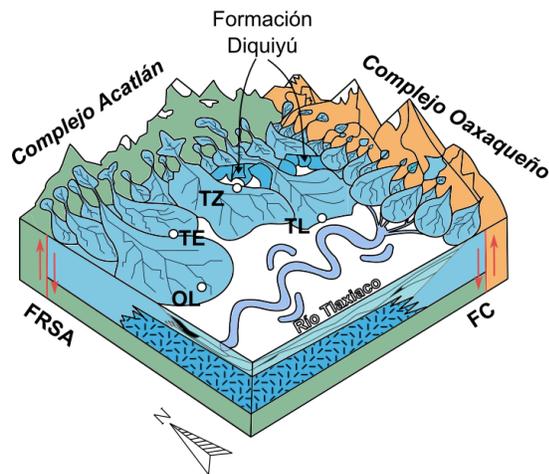
Propuesta de modelo de la cuenca

De acuerdo con Zepeda-Martínez (2021), las estructuras que controlaron la arquitectura interna y la geometría de la Cuenca de Tlaxiaco son las fallas Río Salado-Axutla y Caltepec durante el Jurásico temprano-medio (Figura 13), siendo éstas las causantes del magmatismo de rift relacionado con la fase inicial de la fragmentación de Pangea, representado por rocas volcánicas de las formaciones Diquiyú e Ignimbrita Las Lluvias. Posteriormente los edificios volcánicos son erosionados, dando lugar a la Formación Rosario (Figura 13, a) .

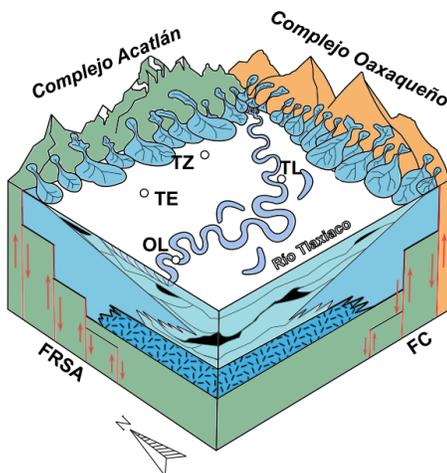
a) Jurásico Temprano



b) Jurásico Temprano-Medio



c) Pre-Bajociense



- Rocas del Complejo Acatlán
- Rocas del Complejo Oaxaqueño
- Formación Diquiyú
- Ignimbrita Las Lluvias
- Formación Rosario
- Formación Cualac
- Grupo Tecocoyunca Inferior

- Localidades
- OL Olinalá
 - TE Tecomatlán
 - TZ Tezoatlán
 - TL Tlaxiaco
- FRSA Falla Río Salado-Axutla
FC Falla de Caltepec

Figura 13. Modelo paleogeográfico de la evolución tectono-sedimentaria de la Cuenca de Tlaxiaco. Ilustración de la distribución de las secuencias estratigráficas, destacando los tipos de relleno sedimentario, fallas estructurales y elementos que influyeron en la formación y evolución de esta región. Los colores utilizados en la ilustración están relacionados con la edad de las formaciones en el contexto del tiempo geológico (modificado de Zepeda-Martínez y Martini, 2024).

La falla Río Salado-Axutla muestra una orientación WNW. De acuerdo con los indicadores cinemáticos, su historia es compleja con diferentes episodios de reactivación. A lo largo del río Salado indica un desplazamiento normal sinistral durante el Jurásico inferior (Martiny et al, 2012). Por otro lado, la falla Caltepec tiene una orientación NNW, similar a otras fallas mayores normales a normales dextrales en el sur de México (Elías-Herrera et al, 2005). Las fallas regionales influenciaron la evolución tectónica de México durante el Jurásico, generando un patrón estructural dominado por fallas laterales derechas con fallas secundarias normales de rumbo ~N-S (Zepeda Martínez, 2021). Los datos indican que la falla Río Salado-Axutla tuvo un desplazamiento normal importante entre ~176 y ~170-168 Ma, lo cual es requerido para acomodar los depósitos de abanico aluvial de hasta ~1,300 m espesor de la Formación Cualac a lo largo del límite norte de la cuenca. Sin embargo, de acuerdo con la geometría y cinemática sinistral en al menos un sector de la falla Río Salado-Axutla, no se puede excluir una componente normal para esta estructura (Zepeda Martínez, 2021). Con la información disponible no es posible determinar la magnitud del desplazamiento lateral izquierdo durante el Jurásico. Realizando una analogía con otras regiones que presentan importantes movimientos laterales, se puede proponer que el desplazamiento sinistral durante el Jurásico del sur de México no haya ocurrido por una sola falla regional, sino múltiples fallas, de manera que, el desplazamiento total acumulado a lo largo de todas estas estructuras pudo generar un desplazamiento total del orden de cientos de kilómetros, siendo la falla Río Salado-Axutla un elemento importante que contribuyó al desplazamiento de bloques de basamento del sur de México hasta su posición actual (Zepeda Martínez, 2021). Por lo tanto, la actividad la falla Río Salado-Axutla, determinó la exhumación de las rocas paleozoicas del Complejo Acatlán, determinando así la formación de un alto morfo-tectónico que limitaba el borde norte de la cuenca de Tlaxiaco. Dicho relieve fue drenado hacia el sureste, sur y suroeste por el sistema de abanicos aluviales de la Formación Cualac. La posterior desactivación de la falla, propició la retrogresión de los abanicos aluviales de la Formación Cualac (Zepeda-Martínez & Martini, 2024).

Por otro lado, la falla de Caltepec, determinó la exhumación de las rocas proterozoica del Complejo Oaxaqueño, formando un alto topográfico al este de la cuenca. Dicho relieve fue drenado por el río Tlaxiaco, el cual conformaba el drenaje axial de la cuenca y se caracterizaba por ser un río tipo *wandering* con su correspondiente llanura de inundación. El registro estratigráfico de este sistema fluvial corresponde con los depósitos del grupo Tecocoyunca inferior, los cuales cubrieron progresivamente los abanicos aluviales de la Formación Cualac, por depósitos de llanura de inundación y de desborde del río Tlaxiaco debido a la desactivación de la falla Río Salado-Axutla (Figura 13, b)) que se habían formado anteriormente (Zepeda-Martínez, 2021; Zepeda-Martínez & Martini, 2024).

Consideraciones económicas

Entre las principales consideraciones económicas, se encuentra el Distrito Minero los Tejocotes, localizado a 128 km en línea recta desde la ciudad de Oaxaca. En esta zona afloran secuencias sedimentarias compuestas por calizas en su base, sobreyacidas por alternancias de margas, lutitas, calizas arcillosas y algunos horizontes de arcosas con cementante calcáreo, también se presentan interestratificadas secuencias de limolitas rojas del Jurásico superior. Cubriendo parte de la unidad anterior, se encuentran depósitos de areniscas, cenizas volcánicas y conglomerados polimícticos que presentan clastos angulosos a redondeados. El conjunto de estos elementos contiene yacimientos minerales constituidos principalmente por estibinita de origen hidrotermal alojadas en fracturas y fallas, presentándose de forma diseminada.

La zona mineralizada tiene un largo aproximado de 1,800 m, con fallas con rumbo preferencial N60°W. Las principales minas del distrito son El Cacho y La Providencia. Las leyes promedio extraídas de antimonio son del orden de 56 a 58% de Sb, mientras que el cinabrio contiene porcentajes hasta del 15% de Hg (SGM, 2012).

El siguiente mineral de importancia económica es el carbón en la región carbonífera de Tlaxiaco-Tezoatlán-Mixtepec en Oaxaca, extendiéndose al estado de Guerrero en Cualac, así como a parte de Puebla. Los mantos de carbón se encuentran en la parte inferior de las formaciones Rosario, Zorrillo y Simón. En Puebla, el carbón se

encuentra en la Formación Tecomazúchil, la cual aflora en Tecomatlán, así como en otras partes del estado como las áreas de Tejaluca y Ahuatlán. En Guerrero, en la región de la Montaña, se han identificado siete áreas con evidencias de carbón la parte inferior del Grupo Tecocoyunca, que son la continuación de la cuenca de Tlaxiaco (González-Partida et al, 2022).

Son yacimientos de carbón semiantracítico y antracítico. Se presentan en forma de capas normales o mantos, con rumbos de NE 16° a 48° SE y en raras ocasiones de NW 47° a 64° SE, con echados de 10° hasta 49°. Los espesores son de unos cuantos centímetros, hasta dos metros y con profundidad de hasta 70 m. Cubre una superficie aproximada de 11,000 km². De acuerdo con datos y registros de COREMI (2012), su potencial evaluado es del siguiente orden.

Subcuenca Carbonífera San Juan Diquiyú

Positivas	7,700, 000 Ton
Probables	26, 900, 000 Ton
Posibles	93, 400, 000 Ton

Subcuenca Carbonífera Tlaxiaco-Mixtepec

Probables	35, 600, 000 Ton
Posibles	26, 700, 000 Ton

En las proximidades de Huajuapán, Oaxaca aflora la Formación San Juan Teita, constituida por yesos y anhidrita con presencia de horizontes de limolitas cubiertas por areniscas arcillosas, intercaladas con tobas y cenizas volcánicas de la Formación Huajuapán (SGM, 2012). En este caso, el yeso es el recurso mineral de interés. Otra localidad de yesos es Tonalá, Oaxaca, que tiene un potencial minero de 2,800,000 toneladas probables con leyes del orden de CaO de 28 a 32% y SO₃ de 35 a 45% (SGM,2012).

La barita se presenta en forma de vetillas tabulares con rumbo N 34° a 40° W, echados de 70° a 86° hacia el NE, con espesores de 0.60 a 1.85 m, en las proximidades de San Sebastián del Monte, con un potencial minero de 37,000 toneladas con leyes de BaSO₄ de 56 a 81% y 2.4% de Pb y 3 % de Zn (SGM, 2012).

Por otro lado, de acuerdo con Rueda Gaxiola et al. (2008), las formaciones cuarcíticas y los materiales detríticos volcánicos y metamórficos presentes en la unidad Diquiyú y la Formación Cualac son recursos valiosos para la industria de la construcción y otros usos industriales, incluyendo la producción de vidrio.

Finalmente, los recursos hidrológicos de la Cuenca de Tlaxiaco corresponden a las Cuencas Río Tlapaneco y Río Mixteco, pertenecientes a la Región Hidrológica Balsas, así como la Cuenca Río Salado de la Región Hidrológica Papaloapan (SINA, 2024). En el área se encuentran pequeñas subcuencas que forman el caudal de ríos y arroyos perennes e intermitentes cuyo patrón de la red de drenaje es de tipo dendrítico y sus principales afluentes son los Ríos Balsas y Papaloapan (INEGI, 2004; SINA, 2024). Por otro lado, dentro del área de estudio se encuentran los acuíferos descritos en la Tabla 2.

Acuífero	Localización	Tipo de acuífero	Calidad de agua	Principal uso del agua	Recarga/Descarga	
Tlapa – Huamuxtlán (1201). Guerrero	Oriente del estado de Guerrero, límite con Oaxaca, entre los paralelos 17°00' y 18°00' de latitud norte y los meridianos 98°11' y 98°57' de longitud oeste.	Libre, heterogéneo y anisótropo.	Sulfatada y/o clorurada-cálcica y/o magnésica. Las concentraciones cumplen con la norma NOM-127-SSA1-2021 para agua potable.	Uso público-urbano.	Recarga anual	22,000,000m ³
					Descarga natural comprometida	6,200,000 m ³
	Volumen de extracción				6,455,715 m ³	
	Disponibilidad media anual				9,344, 285 m ³	
Huajuapán de León (2014). Oaxaca	Pertenece al estado de Oaxaca, entre los paralelos 17°30' y 18°30' de latitud norte y los meridianos 97°00' y 98°00' de longitud oeste.	Libre, heterogéneo y anisótropo	Alcalina, con predominio en carbonatos, respecto a sulfatos. Las concentraciones cumplen con la norma NOM-127-SSA1-2021 para agua potable.	Doméstico Apropiada para uso en riego con restricciones.	Recarga anual	16,700,000 m ³
					Descarga natural comprometida	5,500,000 m ³
	Volumen de extracción				9,462,920 m ³	
	Disponibilidad media anual				1,737,080 m ³	
Juxtlahuaca (2017). Oaxaca	Ubicado en la parte occidental de Oaxaca, entre los paralelos 17° 04' y 17° 38' de latitud norte y los meridianos 97° 34' y 98° 10' de longitud oeste.	Libre y heterogéneo	Sódico-cálcico-bicarbonatada. Las concentraciones cumplen con la norma NOM-127-SSA1-2021 para agua potable.	Posible uso con moderado grado de lavado de suelo y en cultivo de plantas moderadamente tolerables al sodio.	Recarga anual	7,500,000 m ³
					Descarga natural comprometida	3,300,000 m ³
	Volumen de extracción				2,262,859 m ³	
	Disponibilidad media anual				1,937,141 m ³	
	Superficie: 4,759 km²					
	Superficie: 2,686 km²					
	Superficie: 1,946 km²					

Mariscala (2023). Oaxaca	Ubicado al noroeste del estado de Oaxaca, entre los paralelos 17°17' y 18°0' y de latitud norte y 97°44' y 98°16' de longitud oeste.	Libre, heterogéneo y anisótropo		Agrícola.	Recarga anual	4,700,000 m ³
	Superficie: 2,058.97 km ²				Descarga natural comprometida	0.0 m ³
Ixcaquixtla (2106). Puebla	Ubicado al sur de Puebla, en los límites con Guerrero y Oaxaca, entre los paralelos 17° 51' y 18° 57' de latitud norte y los meridianos 97° 37' y 99° 04' de longitud oeste.	Libre, heterogéneo y anisótropo.	Agua bicarbonatada-cálcica. Las concentraciones cumplen con la norma NOM-127-SSA1-2021 para agua potable.	Agrícola.	Volumen de extracción	2,445,049 m ³
					Disponibilidad media anual	1,254,951 m ³
	Recarga anual				110,300,000 m ³	
	Descarga natural comprometida				1,300,000 m ³	
Superficie: 9,559 km ²	Volumen de extracción	74,929,168 m ³				
	Disponibilidad media anual	34,070,832 m ³				

Tabla 2. Principales características de los acuíferos Tlapa-Huamuxtitlán, Huajuapán de León, Juxtlahuaca, Mariscala, e Ixcaquixtla, localizados en la región de la Cuenca de Tlaxiaco (CONAGUA,2024a; CONAGUA,2024b; CONAGUA,2024c; CONAGUA,2024d; CONAGUA,2024e).

Conclusiones

La Cuenca de Tlaxiaco en el sur de México es una cuenca tipo rift, que abarca partes de los estados de Oaxaca, Guerrero y Puebla. Su análisis proporciona una valiosa ventana a la historia geológica del país y a los procesos tectónicos y sedimentarios ocurridos durante el Jurásico inferior-medio, particularmente la disgregación de Pangea que condicionó el desarrollo de la cuenca en un entorno tectónico complejo, influenciado principalmente por las fallas Río Salado-Axutla y Caltepec.

La Cuenca de Tlaxiaco es el resultado de una larga y dinámica historia geológica, que incluye actividad tectónica y volcánica, deposición de sedimentos continentales y marinos que conservan un abundante contenido paleontológico, con ciclos de transgresiones y regresiones marinas. El registro estratigráfico se compone principalmente de cinco unidades: la Formación Diquiyú y la Formación Rosario, ambas de origen volcánico con composición riolítica a andesítica, seguidas por la Formación Cualac, que consiste en abanicos aluviales metamorfolíticos derivados de la erosión de los Complejos Oaxaca y Acatlán. En la parte superior, se encuentran el Grupo Tecocoyunca inferior, representado por un antiguo sistema fluvial meándrico y el Grupo Tecocoyunca superior, compuesto por sucesiones clásticas carbonatadas ricas en organismos marinos, culminando con la Caliza con *Cidaris*.

Además de su importancia geológica, la Cuenca de Tlaxiaco posee una relevancia económica significativa por sus depósitos minerales, un ejemplo es el Distrito Minero Los Tejocotes, con yacimientos de estibinita y cinabrio. Otro recurso más es la presencia de mantos de carbón que se formaron por la transformación de materia vegetal de pantanos el Jurásico medio y tardío en las regiones de Tlaxiaco-Tezoatlán-Mixtepec, Oaxaca y en los estados de Guerrero y Puebla.

Referencias

- Allen, P. A., & Allen, J. R. (1990). *Basin analysis*. Blackwell Publishing.
- Alvarado-Ortega, J., Barrientos-Lara, J. I., & Pacheco-Ordaz, S. (2024). Los vertebrados marinos jurásicos de Oaxaca. In M. P. Velasco de León, *Paleobiota y Geología del Jurásico del Sur de México* (pp. 101-138). Ciudad de México: UNAM.

- Arellano Gil, J., Santillán Piña, N., Sánchez Guillén, L., & Cruz Gazpar, J. M. (2024). El Terreno Mixteco y su cubierta sedimentaria. In M. P. Velasco de León, *Paleobiota y Geología del Jurásico del sur de México* (pp. 15-48). Ciudad de México: UNAM.
- Arellano-Gil, J., Schulze-Schreiber, C. H., Santillán-Piña, N., Velasco-de-León, P., Domínguez-Trejo, I., Arcos-Hernández, J. L., & López-Miguel, C. (2021). Aspectos geológicos del estado de Oaxaca. In R. Guerreo Arenas, E. Jiménez Hidalgo, & K. A. González Rodríguez, *El patrimonio paleontológico y geológico de Oaxaca* (pp. 15-40). Oaxaca, México: Universidad del Mar.
- Aubouin, J. (1965). *Geosynclines*. Elsevier Publishing Company.
- Barredo, S. P., & Stinco, L. P. (2010). Geodinámica de las cuencas sedimentarias: su importancia en la localización de sistemas petroleros en la Argentina. *Petrotecnia*, 48-68.
- Biju-Duval, B. (2002). *Sedimentary Geology Sedimentary Basins Depositional Environments Petroleum Formation*. Paris: Editions TECHNIP.
- Buitrón Sánchez, B. E., & Jiménez López, J. C. (2024). Invertebrados del Jurásico de Puebla, Oaxaca, y Guerrero, región centro-sur de México. In M. P. Velasco de León, *Paleobiota y Geología del Jurásico del Sur de México* (pp. 81-100). Ciudad de México: UNAM.
- Busby, C., & Ingersoll, R. (1995). *Tectonics of Sedimentary Basins*. Massachusetts: Blackwell Science.
- CONAGUA. (2024a). *Actualización de la disponibilidad de agua en el acuífero Tlapa-Huamuxtitlán (1201), estado de Guerrero*. Ciudad de México: Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas.
- CONAGUA. (2024b). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Huajuapán De León (2014), estado de Oaxaca*. Ciudad de México: Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas.
- CONAGUA. (2024c). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Ixcaquixtla (2106), estado de Puebla*. Ciudad de México: Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas.
- CONAGUA. (2024d). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Juxtlahuaca (2017), estado de Oaxaca*. Ciudad de México: Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas.
- CONAGUA. (2024e). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Mariscala (2023), estado de Oaxaca*. Ciudad de México: Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas.
- CONAGUA. (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Chilapa (1206), Estado de Guerrero*. México: Diario Oficial de la Federación.
- COREMI. (2012). *Resumen Carta Geológico-Minera Oaxaca E14-9, Escala 1:250,000, Estado de Oaxaca*. México: Secretaría de Economía.
- Corona-Esquivel, R. J. (1981). Estratigrafía de la región de Olinala-Tecocoyunca, Noreste del Estado de Guerrero. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, v. 5, n.1, 17-24.
- Dickinson, W. R. (1974). *Tectonics and Sedimentation*. Oklahoma: SEPM Society for Sedimentary Geology.

- Di Castro Stringher, A. A. (2014). *Características e importancia económico-petrolera de las cuencas sedimentarias pull-apart, con ejemplos representativos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Dou, L., & Wen, Z. (2021). Classification and exploration potential of sedimentary basins based on the superposition and evolution process of prototype basins. *Petroleum Exploration and Development*, 1271-1228.
- Durán Aguilar, R. F. (2014). *Sedimentología y geocronología de los lechos rojos del Jurásico, región del norte de la cuenca de Tlaxiaco, Tezoatlán, Oaxaca; correlaciones y procedencia [Tesis de Maestría]*. México: UNAM.
- Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J. L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., & Iriondo, A. (2005). La falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 83-109.
- Erben, H. K. (1956). *El Jurásico medio y el Calloviano de México*. México: XX Congreso Geológico Internacional, Monografía, 140 p.
- García-Abdeslem, J., Regalado-Sosa, J. J., & Cerquone-Ravelo, H. R. (2013). Venezuela, Un modelo 3D de la densidad del subsuelo en el graben de Espino: un aulacógeno Jurásico en el oriente de Venezuela. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 110-120.
- González-Partida, E., González-Betancourt, A. Y., Camprubí, A., Carrillo-Chávez, A., Iriondo, A., Enciso-Cárdenas, J. J., . . . Vázquez Ramírez, J. T. (2022). Tiempos de acumulación de carbón en México con especial énfasis en la Cuenca de Sabinas México, donde se proporcionan nuevos datos geocronológicos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 293-307.
- González Torres, E. A. (1989). *Geología y paleomagnetismo del área de Tezoatlan, Oaxaca [Tesis de Licenciatura]*. Ciudad de México: UNAM.
- Hernández Vulpes, R. M., & Rodríguez Calderón, M. (2012). *Análisis estratigráfico de las secuencias Jurásicas de la región Tecocoyunca-Tecomatlán en Puebla [Tesis de licenciatura]*. México: Facultad de ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2004). *Síntesis de Información Geográfica del Estado de Oaxaca: Hidrología*.
- Ismail, M., & Krishna, K. (2023). Mechanical strength and nature of lithospheric deformation beneath the rifted sedimentary basins of the east India passive margin. *Elsevier*, 154.
- Ju, Y., Wang, G., Li, S., Sun, Y., Suo, Y., Somerville, I., . . . Yu, K. (2022). Geodynamic mechanism and classification of basins in the Earth system. *Elsevier*, Gondwana.
- Leeder, M. R. (2010). *Sedimentology and Sedimentary Basins: From Turbulence to Tectonics*. Nueva York: Wiley-Blackwell.
- Loza Espejel, R. (2014). *Características e importancia económica-petrolera de las cuencas sedimentarias foreland, con ejemplos representativos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lozano Carmona, D. E., & Velasco de León, M. P. (2016). Jurassic flora in Southeast Mexico: importance and prospects of recent findings in the Mixteco terrane. *Paleontología Mexicana*, 87-101.

- López Ramos, E. (1981). Paleogeografía y Tectónica del Mesozoico en México. *UNAM, Instituto de Geología*, 158-177.
- López Ticha, D. (1985). Revisión de la estratigrafía y potencial petrolero de la Cuenca de Tlaxiaco. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 49.
- Lugo, J. (1985). Morfoestructuras del fondo oceánico Mexicano. *Scielo*, 9-39.
- Martiny, B. M., Morán-Zenteno, D. J., Tolson, G., Silva-Romo, G., & López-Martínez, M. (2012). The Salado River fault: reactivation of an Early Jurassic fault in transfer zone during Laramide deformation in southern Mexico. *International Geology Review*, 144-164.
- Mendoza Torres, A., & Márquez Pérez, O. (2017). *Santa Cruz Tacache de Mina, E14-D13 y Escala 1:50,000 Estados de Oaxaca y Puebla*. México: Servicio Geológico Mexicano.
- Miall, A. D. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits*. Toronto: Springer.
- Morán-Zenteno, D. J., Caballero-Miranda, C. I., Silva-Romo, G., Ortega-Guerrero, B., & González-Torres, E. (1993). Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern Mexico. *Geofísica Internacional*, 453-473.
- Ocampo-Fletes, I., & Villarreal-Manzo, L. A. (2014). Recursos hídricos, movilidad social territorial para su aprovechamiento y derecho humano al agua en comunidades de la mixteca baja de Puebla, México. *Ambiente y Desarrollo*, 55-69.
- Osorio Peralta, V. (2003). *Evaluación petrolera de cuencas sedimentarias [Tesis de Licenciatura]*. Ciudad de México: UNAM.
- Ramos, E. L. (1981). Paleogeografía y tectónica del Mesozoico de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 158-177.
- Rodríguez de la Rosa, R. A., Velasco de León, M. P., Arellano Gill, J., & Lozano Carmona, D. E. (2018). Middle Jurassic ankylosaur tracks from Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 379-395.
- Rueda Gaxiola, J., De Anda, A., Osorio Nicolás, M. A., Hernández Constantino, B., Olvera Celaya, A., Pérez Silva, B. S., . . . Meza Carreto, J. (2008). *Estudio petrológico y estructural de las unidades Diquiyú y Cuarcítica Cualac, del Anticlinorio de Tlaxiaco y su correlación con el alogrupo Los San Pedros, del Anticlinorio de Huayacocotla-El Alamar: Implicaciones Paleogeográficas*. Ciudad de México: IPN.
- Sandoval, J., & Westermann, G. E. (1986). The Bajocian (Jurassic) ammonite fauna of Oaxaca. *Journal of Paleontology*, 1220-1271.
- SGM. (2012). *Resumen Carta Oaxaca E14-9 1:250,000*. México: Consejo de Recursos Minerales.
- Sistema de Información del Agua (SINA). (2024). *Informe sobre la Situación de los Recursos Hídricos*. México: CONAGUA.
- University of Illinois Chicago (2006). Cuencas de antepaís, transarco, antearco y trinchera [Figura 5] Recuperado de <https://catalog.uic.edu/search/?search=EAES+350>.
- Zepeda Martínez, M. d. (2021). *Reconstrucción de la evolución tectono-sedimentaria del Jurásico Temprano-Medio de la Cuenca de Tlaxiaco, sur de México: implicaciones en la historia de la atenuación continental del margen*

occidental de Pangea [Tesis de Doctorado]. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Zepeda-Martínez, M., & Martini, M. (2024). La fragmentación de Pangea en el sur de México y sus posibles efectos sobre los ambientes naturales del Jurásico y sus ecosistemas. In M. P. Velasco de León, *Paleobiota y Geología del Jurásico del Sur de México* (pp. 49-80). Ciudad de México: UNAM.

Zepeda-Martínez, M., Martini, M., Solari, L. A., & Mendoza-Rosales, C. C. (2021). Reconstructing the tectono-sedimentary evolution of the Early-Middle Jurassic Tlaxiaco Basin in southern Mexico: New insights into the crustal attenuation history of southern North America during Pangea breakup. *Geosphere*, 1295-1317.