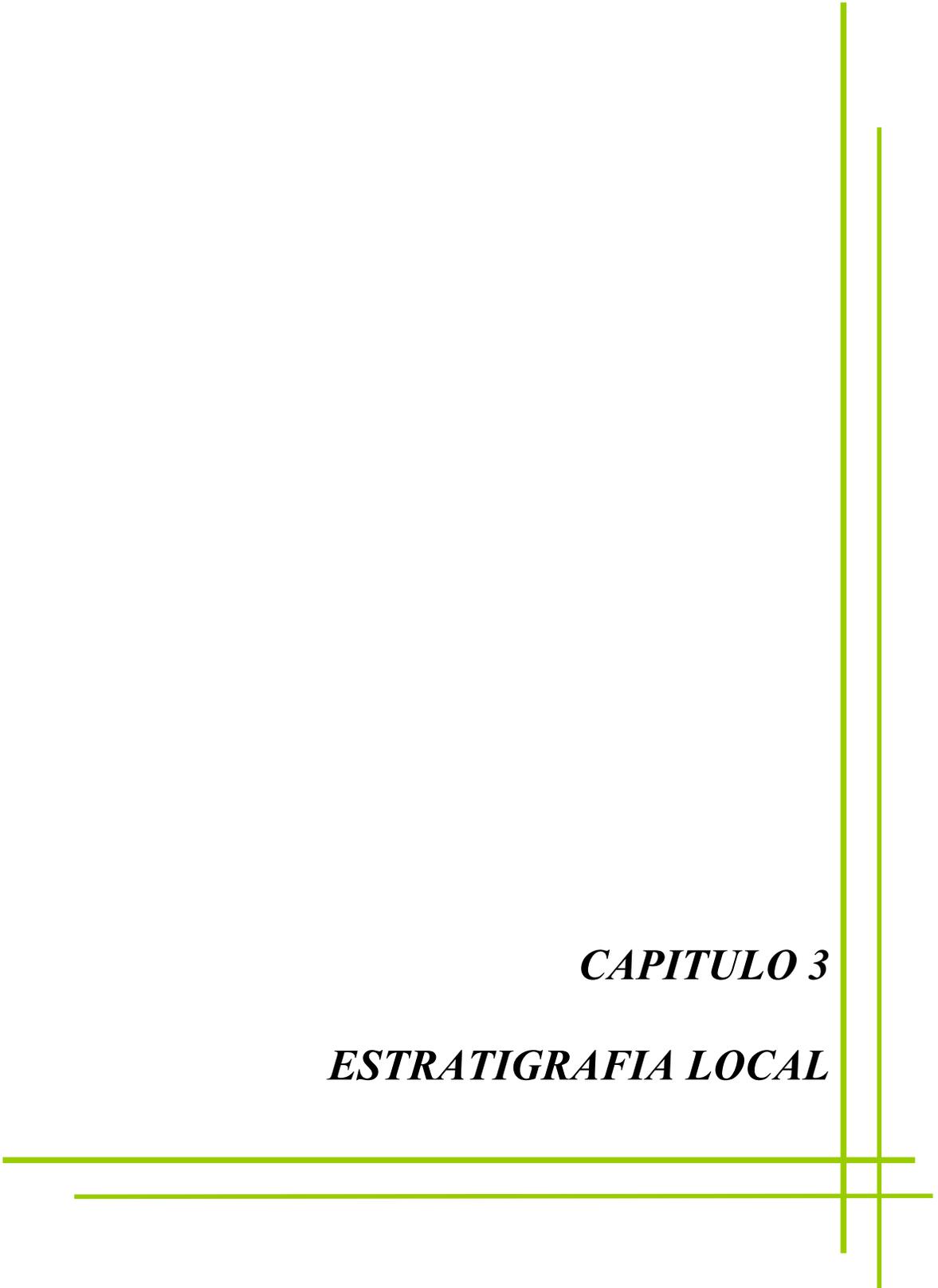


CAPITULO 3
ESTRATIGRAFIA LOCAL



La estratigrafía local que se trata en este capítulo, se refiere al estudio estratigráfico detallado de la secuencia jurásica continental, basada en el estudio de una columna estratigráfica medida en los márgenes del Río Numí, así como a lo largo del camino de terracería hacia San Juan Mixtepec, ubicado al norte del municipio de Tlaxiaco, Oaxaca. Las unidades estratigráficas medidas y descritas fueron 3, las cuales son: el Conglomerado Numí, la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas y la Formación Simón; de esta última solo fue medida su parte basal. La columna fue medida usando el báculo de Jacob, brújula tipo Brunton, además de cinta métrica. Tomándose como inicio de la medición el contacto con el Conglomerado Numí; aunque en algunos sitios su contacto es con rocas del Complejo Acatlán. A continuación se describe las unidades litológicas observadas en la medición, así como su contenido fósilífero.

3.1 Columna estratigráfica

3.1.1 Columna estratigráfica general

La columna estratigráfica de las unidades continentales del Jurásico medio, se midió en dos partes, la primera a partir del contacto discordante, entre el Complejo Acatlán con el Conglomerado Numí, este punto se ubica en las coordenadas UTM 635, 410 mE, 1,914, 900 mN, localizados en el margen del río Numí. La segunda parte se midió a partir del punto UTM 636, 782 mE, 1,913, 654 mN, a lo largo del camino de terracería. En las tablas 3.1, 3.2 y 3.3 se muestran las descripciones de la litología, estructuras sedimentarias y contenido fósilífero, además del espesor medido de cada unidad.

La tabla 3.1 y figura 3.1, presentan la descripción y medición del Conglomerado Numí, el cual estaba reportado en esta zona como “Conglomerado Cualac” por Carrasco (1981), el cual, de acuerdo a este autor, se encuentra conformado por clastos de cuarzo subredondeados-subangulosos casi en su totalidad con un porcentaje escaso de matriz; mientras que la unidad conglomerática descrita en el área de estudio presenta clastos angulosos-subangulosos de material del basamento metamórfico como son esquistos y gneisses, en su parte inferior están clastosoportados y hacia la parte superior los clastos se encuentran aislados en una matriz arcillo-arenosa. En la parte inferior forman cuerpos masivos e irregulares con clastos en distribución caótica, y en su parte superior se presentan en estratos irregulares. Se midió un espesor total de la base a la cima de

esta unidad de 95 m. Fue medido en la parte central del área de estudio, a partir del contacto con el Complejo Acatlán.

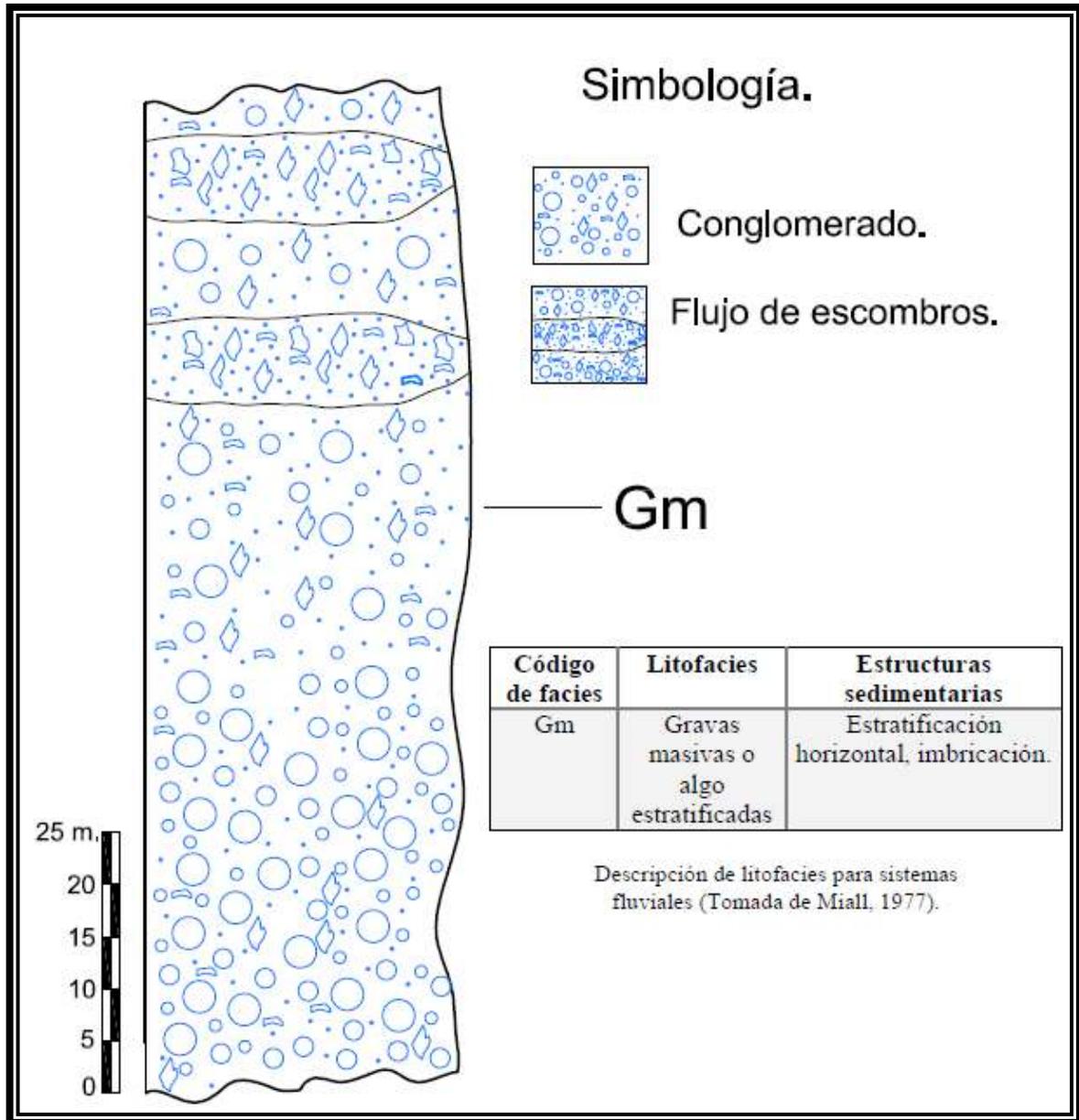


Figura 3.1. Columna estratigráfica de la formación Conglomerado Numí, medida en los márgenes del río Numí, a partir del contacto con el Complejo Acatlán y hasta el contacto con la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas.

Unidad	Descripción	Espesor (m)
A	Conglomerado polimictico con clastos de gneiss, esquistos de micas y clorita; además clastos de cuarzo metamórfico, con un contenido escaso de matriz, donde los clastos en general están clastosoportados. Los clastos están angulosos. Tienen tamaño que va de arenas gruesas hasta un diámetro de 30 cm. El conglomerado se encuentra de forma masiva e irregular.	11 m
B	Conglomerado polimictico, compuesto por clastos de gneiss, cuarzo y esquistos, con un contenido de matriz de arenas gruesas de hasta un 10%. Presenta algunos horizontes de areniscas gruesas. Los clastos son subangulosos a angulosos, su tamaño es de arenas gruesas hasta 30 cm. El conglomerado se encuentra en estratos de hasta 5 m de espesor, los horizontes de areniscas son hasta de 10 cm.	16 m
C	Conglomerado polimictico con un mayor porcentaje de fragmentos de gneiss, además de clastos de cuarzo y esquistos. Los clastos van desde angulosos a subredondeados, tienen diámetros de arenas medias a clastos de 10 cm. Se encuentran en su mayoría granosoportados y se presentan hasta un 5% de arenas gruesas como matriz. Se encuentra en forma masiva e irregular.	21 m
D	Conglomerado polimictico y areniscas conglomeráticas, con clastos en mayor proporción de gneiss, además de cuarzo y esquistos; también presenta clastos de areniscas. Los clastos son subangulosos y subredondeados, con un diámetro de arenas gruesas hasta clastos de 40 cm. La matriz es de arenas medias, con un porcentaje de hasta 10 %. El conglomerado se presenta en forma masiva; presenta un reducido contenido de óxidos de Fe que funciona como cementante. Se observaron flujos de lodo con clastos de gran tamaño, producidos por flujos de escombros.	22 m
E	Conglomerado polimictico intercalado con arenas gruesas. Tanto el conglomerado como las arenas gruesas presentan clastos en su mayoría de gneiss con un porcentaje del 60% y en menor cantidad clastos de esquistos 20% y cuarzo metamórfico. Los clastos del conglomerado se encuentran subangulosos a subredondeados, su diámetro van de arenas medias hasta los 30 cm. Los clastos se encuentran en una matriz arcillosa que representa el 10%. Estos están mal clasificados. El conglomerado se encuentra orientado, los estratos	25 m

	alcanzan los 3 m. Los estratos de areniscas gruesas llegan hasta los 15 cm.	
Espesor total		95 m

Tabla 3.1 Descripción del Conglomerado Numí, medido en el margen del Río Numí.

La tabla 3.2 y figura 3.2 presentan la descripción y medición realizada de la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas; esta formación se encuentra constituida por areniscas intercaladas con lutitas. Las areniscas presentan una variación en el contenido de matriz, y un porcentaje entre líticos y cuarzo muy parecido, por lo que se tienen litarenitas y grauvacas. Los líticos están constituidos por gneisses y esquistos. El tamaño de los clastos varía entre arenas finas a gruesas, en su mayoría son subangulosos. Conforman estratos tabulares e irregulares con espesores que varían entre los 30 cm a los 3 m. La lutitas se encuentra en estratos delgados que van entre los 10 y 30 cm, aunque en algunos casos alcanzan espesores de hasta 3m. Contienen carbón, el cual aumenta hacia la parte superior; próxima a las capas de carbón se incrementa el contenido fósil. La unidad tiene un espesor total de 325 m. Se midió en la parte central del área de estudio.

Unidad	Descripción	Espesor (m)
A	Areniscas de grano medio a grueso, los clastos son líticos provenientes de la erosión del Complejo Acatlán, ya que se compone de fragmentos de gneiss esquistos de muscovitas, y cuarzo metamórfico. Están intercaladas con lutitas. Los clastos son subangulosos a angulosos; se presenta en estratos continuos e irregulares. Las areniscas presentan estratos con espesores de entre .4 y 1 m, las lutitas tienen estratos que van de 10 a 30 cm.	60 m
B	Areniscas de grano fino a grueso, con mayoría de clastos de gneisses y esquistos, además de cuarzo metamórfico, estos son subangulosos. Presenta algunas intercalaciones de lutitas. Se tienen en estratos continuos, aunque algunos son irregulares. Las areniscas tienen espesores entre los 30 y 80 cm, mientras que las lutitas van de los 8 a los 20 cm.	60 m
C	Areniscas de grano fino a medio, con clastos subangulosos a subredondeados de líticos aproximadamente 40% y cuarzo metamórfico un 28%, además de un porcentaje mínimo de feldspatos. Los clastos se encuentran en una matriz arcillosa con un porcentaje del 15%. Se clasificaron	65 m

	<p>como grauvacas. Intercaladas con lutitas, en algunas partes con cuerpos lenticulares de carbón. Los estratos de lutita son continuos y los de la arenisca irregulares. El espesor de los estratos de las areniscas es variable, va de los 20 cm a los 70 cm, las lutitas van de los 10 cm a los 40 cm. Presenta huellas fósiles (icnofósiles) en la fracción arenosa, posiblemente de dinosaurios.</p>	
D	<p>Areniscas de grano medio a grueso, con clastos de cuarzo metamórfico un 50% y gneisses con un porcentaje del 37 %, además de feldespatos, en su mayoría los clastos se encuentran clastosoportados, clasificándose como litarenitas; presenta intercalaciones con lutitas. Los clastos van de subangulosos a subredondeados. La estratificación es continua e irregular en ambas unidades. Los estratos de areniscas van de los 17 cm a los 80 cm de espesor, mientras que los espesores de las lutitas son de hasta 10 cm a 40 cm. Se observan rellenos de canal. Los lentes de carbón con espesores de 30 cm intercalados con lutitas se encuentran en mayor cantidad que las unidades anteriores. Contiene ejemplares de plantas fósiles como bennettitales, helechos y equisetos.</p>	45 m
E	<p>Se compone de areniscas de grano medio con un mayor contenido de clastos de cuarzo metamórfico un 43% y en menor cantidad gneisses con un 40 %, estos clastos son subangulosos y están clastosoportados, se clasificaron como litarenita; y algunos estratos intercalados de lutitas. El color al fresco es gris oscuro mientras que al intemperismo es pardo rojizo. Los estratos de litologías mas finas son tabulares y los de mayor granulometría irregulares, los espesores de los estratos en las areniscas varían de 30 cm a 1 m, mientras que en las lutitas van de los 20 cm a los 50 cm. Se presentan rellenos de canal los cuales presentan areniscas de grano grueso. Los cuerpos de carbón son de forma lenticular, aunque se presentan en menor cantidad que la unidad anterior. Presenta algunos fósiles de plantas, que corresponden bennettitales y helechos.</p>	40 m
F	<p>Areniscas de grano medio a fino, con contenido de cuarzo metamórfico del 45 % y líticos un 35%, los clastos son subangulosos a subredondeados, en una matriz arcillosa, se clasifican como grauvacas; están intercaladas con lutitas; los clastos van de angulosos a subredondeados. La estratificación es tabular aunque también los hay irregulares, hacia la cima es mas paralela. Las areniscas presentan espesores que varían de 20 cm a 1.2 m, las lutitas van de 40 cm a 60 cm. Se presentan cuerpos más continuos de carbón</p>	45 m

	en mayor cantidad que la unidad anterior, un cuerpo de carbón presenta un espesor de hasta 1.5 m. Presencia de marcas de carga y óxidos de Fe. Gran cantidad de plantas fósiles como bennettitales, equisetos, helechos, coníferas y semillas, además de posibles angiospermas.	
	Espesor total	325 m

Tabla 3.2 Descripción de la formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas, medida en los márgenes del Río Numí y el camino de terracería hacia San Juan Mixtepec, Oaxaca.

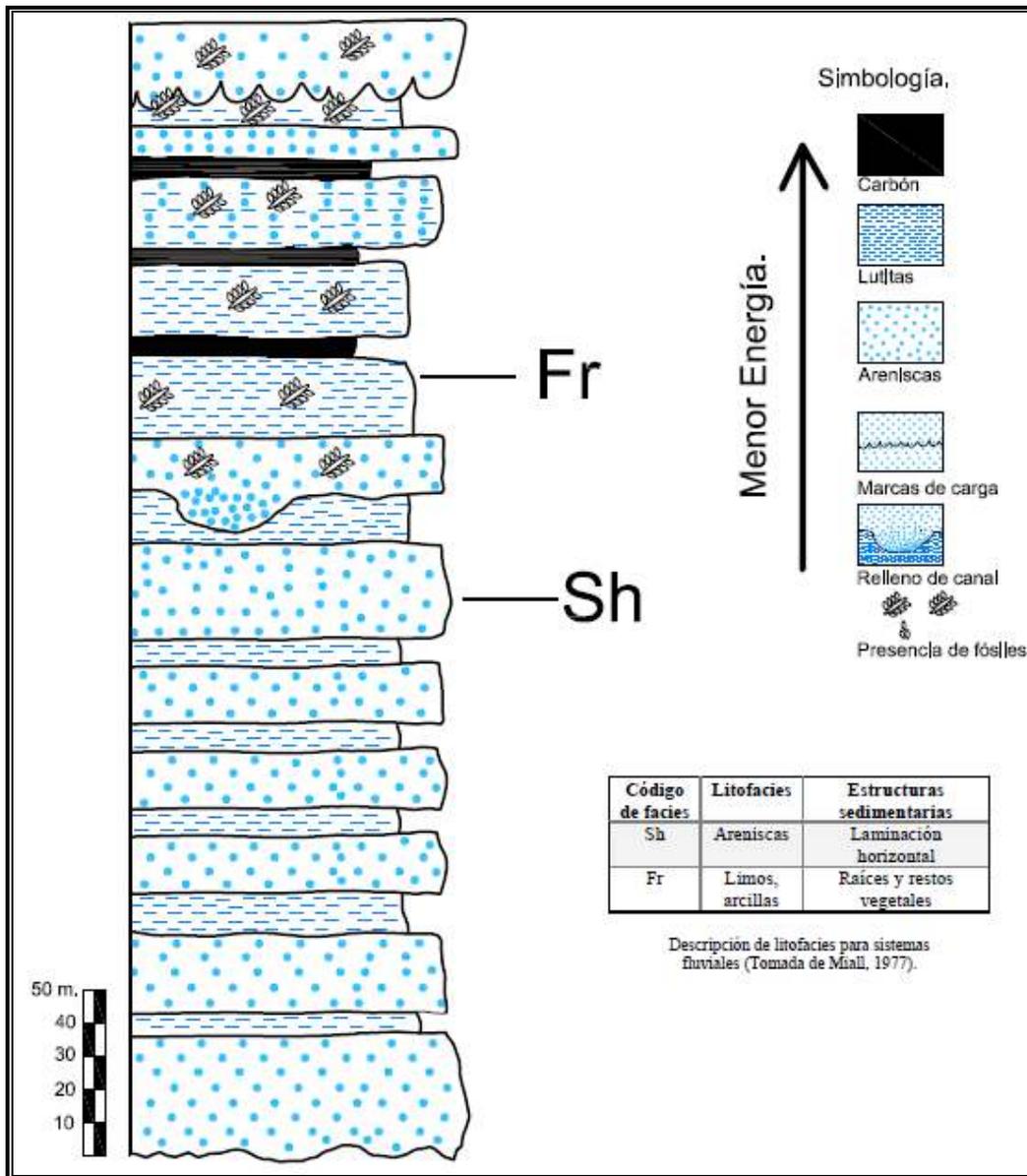


Figura 3.2. Columna estratigráfica de la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas, medida en las márgenes del Río Numí, a partir del contacto con el Conglomerado Numí.

La siguiente tabla 3.3 y figura 3.3, corresponden con la medición y descripción de la parte inferior y media de la Formación Simón, la cual esta constituida por areniscas con una menor presencia de lutitas. Las areniscas fueron clasificadas como litarenitas y grauvacas, debido a la variación de la matriz arcillosa presente; los clastos en mayor porcentaje son de cuarzo metamórfico y en menor cantidad líticos, en su mayoría son subangulosos. Las areniscas forman estratos tabulares que varían entre los 10 cm hasta los 5 m, aumentando su espesor hacia la parte superior; estos son de geometría irregular, ya que corresponden con rellenos de canal. Algunos estratos presentan estratificación cruzada. Las lutitas tienen espesores que varían entre los 5 y 20 cm; aunque en la parte superior tiene un espesor de hasta 3 m. El espesor total de la unidad medida de su base a su cima es de 240 m. Medida en la parte central del área estudio.

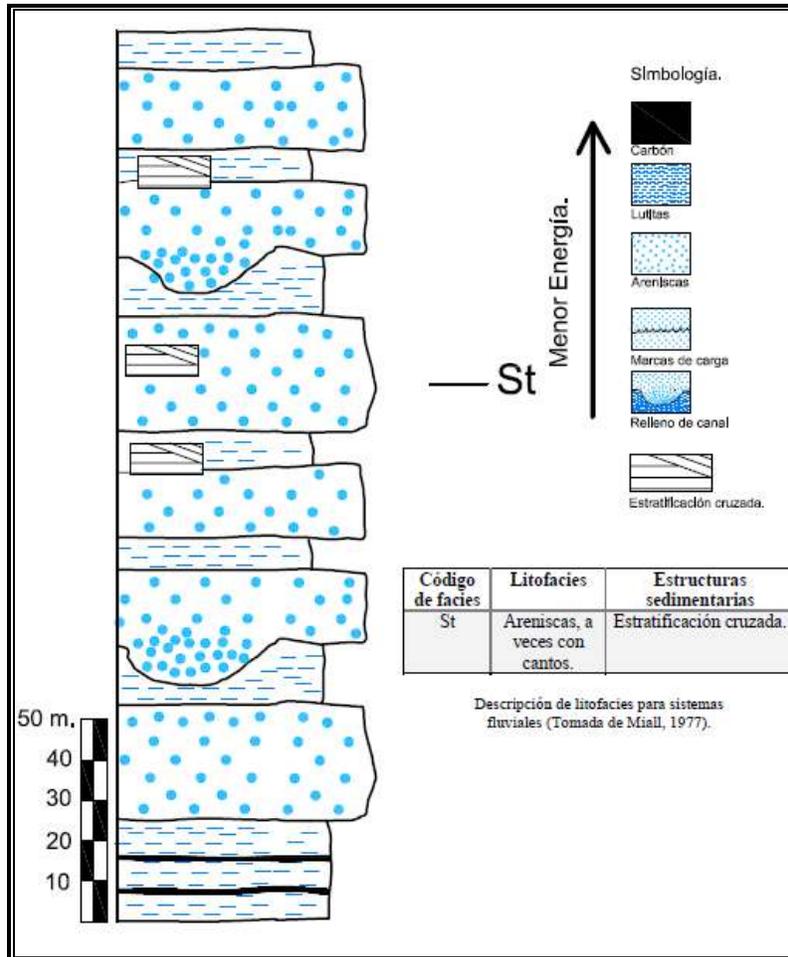


Figura 3.3. Columna estratigráfica de la formación Simón, medida en el camino de terracería hacia San Juan Mixtepec.

Unidad	Descripción	Espesor (m)
A	Areniscas de grano medio, intercaladas con lutitas carbonosas. Los clastos son de cuarzo metamórfico un porcentaje del 35%, además de contener líticos como gneisses con un 30%, los cuales son subangulosos, contenidos en una matriz arcillosa del 20%, se clasificaron como grauvacas. Los estratos son paralelos y continuos tanto las areniscas como las lutitas. Los estratos de areniscas tienen los mayores espesores, los cuales llegan hasta los 80 cm, en los que se tienen nódulos de Fe.	21 m
B	Areniscas de grano fino a medio, compuestas de clastos de cuarzo metamórfico principalmente hasta un 40%, también contiene fragmentos de gneisses un 15%; los granos son subangulosos, se encuentra en una matriz arcillosa del 35%, se clasifico como una grauvaca. La estratificación es paralela y continua. Los estratos presentan un espesor de 1 a 1.5 m, en algunos de ellos se observan muestras de carga.	63 m
C	Intercalación de areniscas de grano fino con lutita carbonosa. Las areniscas contienen clastos de cuarzo metamórfico en mayor porcentaje, además de líticos. Los clastos son subangulosos a subredondeados. Presenta tanto la arenisca como la lutita estratificación paralela. Las areniscas tienen un espesor de entre los 7 y 12 cm. Hay marcas se carga y presencia de oxidación.	39.5 m
D	Intercalación de lutitas con areniscas de grano medio a grueso. Con clastos de cuarzo metamórfico con un porcentaje del 45% y en menor cantidad un 40% fragmentos de gneisses. Los clastos son subangulosos, en su mayoría clastosportados; se clasifica a las areniscas como litarenitas. Se presenta estratificación paralela y cruzada en las areniscas, con espesores de hasta un metro; mientras que las lutitas también la estratificación es paralela, además de presentar en la parte superior formas lenticulares. Presencia de un paleocanal donde la granulometría es mayor.	33.5 m
E	Areniscas de grano grueso a medio con algunos estratos de grano fino, las cuales se presentan intercaladas con lutitas. Los clastos de las areniscas de grano medio a grueso son de cuarzo metamórfico en mayor porcentaje con un 50% y en menor cantidad líticos de rocas metamórficas un 20%, estos son subangulosos y subredondeados, con una matriz del 20%, se clasificaron como grauvacas. También fue identificada una cuarzoarenita, con un alto porcentaje de cuarzo metamórfico y muy poca matriz. Las areniscas presentan estratificación paralela y cruzada,	40.5 m

las lutitas se observan en estratos tabulares. Los espesores de los estratos de areniscas van de 1.5 a 5m, mientras que los de lutita van de 0.5 m a 2 m. Presencia de marcas de carga, nódulos y costras de Fe. Hacia la parte superior se presentan lentes de areniscas conglomeráticas con clastos subredondeados de cuarzo.	
Espesor total	240 m

Tabla 3.3 Descripción de la Formación Simón, medida en el camino de terracería hacia San Juan Mixtepec, Oaxaca.

En la figura 3.4 se muestra la columna general medida, la cual comprendió las unidades estratigráficas anteriormente descritas.

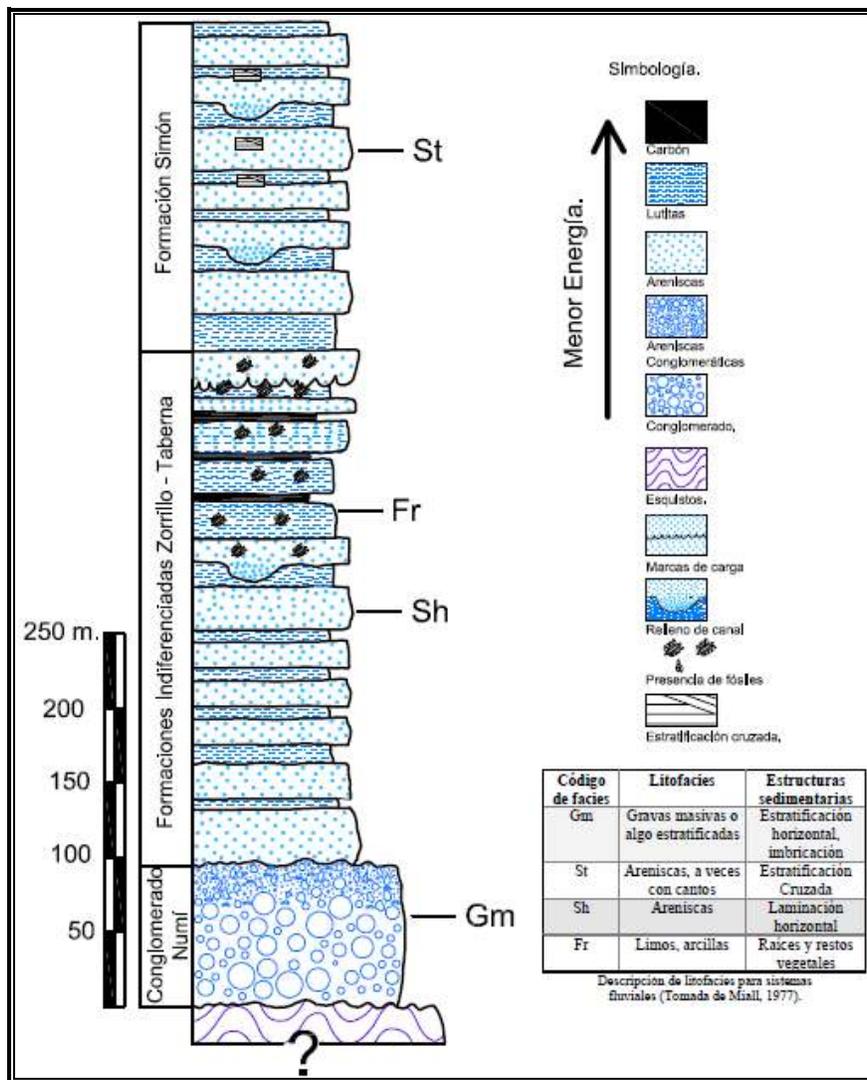


Figura 3.4. Columna estratigráfica de la sección completa de las Formaciones Conglomerado Numí, Indiferenciadas Zorrillo-Taberna y Simón, medidas en las

márgenes del río Numí, a partir del contacto entre el Complejo Acatlán y el Conglomerado Numí.

3.1.2 Columna estratigráfica local

Se midió adicionalmente una columna parcial de la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas en la que se encontró la mayor cantidad de flora fósil. La columna se midió a partir del punto UTM 636, 279 mE, 1,915, 658 mN. Corresponde a la parte superior de la formación antes citada. En la tabla 3.4 y la figura 3.5 se muestran las principales características de la columna medida de la base a la cima en la parte central-norte del área de estudios.

Unidad	Descripción	Espesor (m)
A	Se compone de areniscas de grano medio a grueso, con mayor contenido de cuarzo metamórfico un porcentaje del 44% y en menor cantidad líticos de gneisses y esquistos un 40%; los clastos son subangulosos a subredondeados, están moderadamente seleccionados. Contienen muy poca matriz arcillosa, se clasificaron como litarenitas. Presentan intercalaciones de lutitas y algunos cuerpos lenticulares de carbón. Ambas litologías presentan un color pardo al intemperismo mientras que al fresco presentan un color gris oscuro. La estratificación es tabular y continua en las litologías mas finas mientras que las más gruesas presentan estratificación irregular. Los estratos de areniscas presentan un espesor entre los 40 y 1.72 cm de espesor, mientras que las lutitas tienen un espesor de 10 hasta 50 cm. Los cuerpos de carbón tienen 40 cm de espesor en promedio. Las areniscas presentan estructuras de relleno de canal. Se tienen fósiles de bennettiales, equisetos y helechos.	10.5 m
B	Se presentan areniscas de grano fino a grueso con un contenido en su mayoría de cuarzo metamórfico hasta un 45%; además de líticos con un 30%, los clastos de las areniscas son subangulosos a subredondeados, contenidos en una matriz arcillosa alrededor del 15%, se clasifican como grauvacas. Intercaladas con lutitas. La estratificación es tabular en cuanto a la litología más fina e irregular en la litología más gruesa; se tienen algunos cuerpos de areniscas acunados. Los estratos de areniscas van de los 17 a los 22 cm, aunque algunos llegan a 1 m de espesor, mientras que los espesores de las lutitas son de 10 cm hasta casi un metro. Hay presencia de un cuerpo irregular de carbón con un espesor de 15 cm. Presenta rellenos de canal.	9 m

C	Areniscas de grano medias con contenido de cuarzo de origen metamórfico con un porcentaje del 50%, y líticos con un 35%. Los clastos son subangulosos a subredondeados, y se encuentran clastoportados en la mayoría, se clasificaron como litarenitas. Presenta intercalaciones de lutitas. Los estratos de areniscas van de los 30 a los 80 cm, son irregulares y los de lutita de 40 cm son tabulares. Presenta rellenos de canal.	26.5 m
D	Se compone de areniscas de grano medio a grueso con un porcentaje muy parecido de cuarzo y líticos, con poca presencia de delgados estratos de lutitas intercaladas. Los clastos en las areniscas son subangulosos, en general clastosoportados aunque la matriz arcillosa, clasificándose como litarenitas, además se tienen cuarzoarenitas ya que un intervalo de esta unidad se tienen un porcentaje alto del 68% de cuarzo. El color al fresco es gris oscuro mientras que al intemperismo es pardo rojizo. Los estratos son tabulares en la litología fina e irregulares en la litología gruesa. Los espesores de areniscas varían de 30 cm a 1 m, mientras que las lutitas van de los 20 cm a los 50 cm. Se observan rellenos de canal, aunque en menor cantidad que la unidad anterior. Presenta cuerpos lenticulares de carbón, todos ellos menores a un metro.	28.5 m
E	Areniscas de grano medio a muy fino, con contenido de cuarzo metamórfico de un 40% y líticos un 30%, estos son fragmentos de gneisses y un porcentaje alrededor del 10% de micas, con una matriz arcillosa del 15%, clasificándose como una grauvaca. Aunque también se tienen litarenitas hacia la parte superior, ya que a lo largo de la columna varía la cantidad de matriz arcillosa. Presenta una cantidad mayor de estratos de lutitas en comparación a las unidades anteriores. La estratificación es tabular en ambas unidades, con estratos cuyos espesores varían de 40 a 60 cm, las lutitas van de los 20 cm a los 1.2m. Los cuerpos de carbón son más abundantes en esta zona, alcanzan un espesor de hasta 1.5 m. Hay marcas de carga y abundante flora fósil como son bennettitales, helechos, equisetos, semillas, ginkgoales y posibles angiospermas.	27.5 m
Espesor total medido		102 m

Tabla 3.4 Descripción de la columna medida a detalle perteneciente a la formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas, medida en los márgenes del Río Numí.

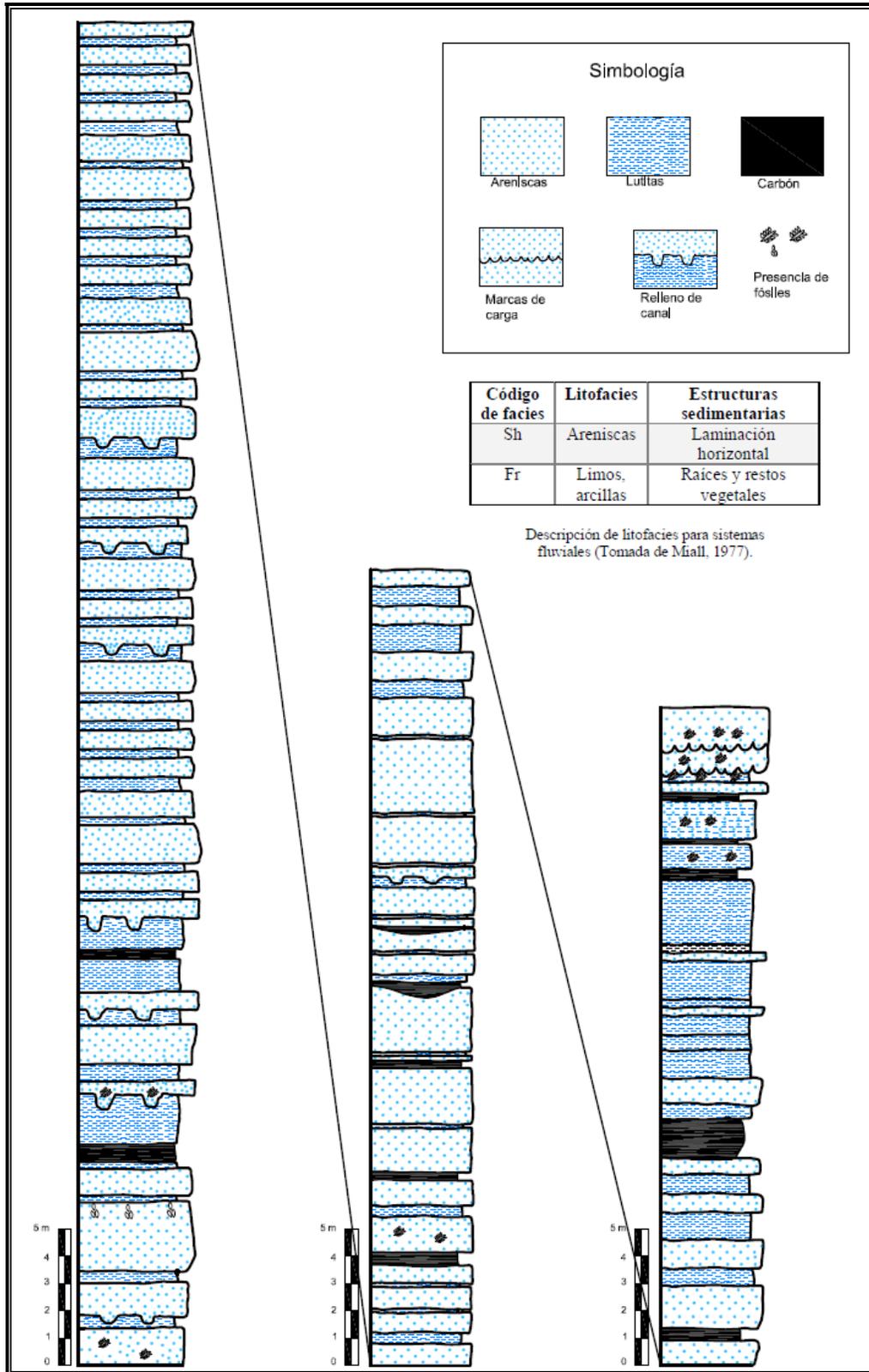


Figura 3.2. Columna estratigráfica parcial medida en las márgenes del río Numí, en la intersección del río Numí y el camino hacia San Juan Mixtepec.

3.2 Litología

Se describen las principales características litológicas de la columna estratigráfica medida. Se analizaron un total de 20 muestras, de las cuales una pertenece al Complejo Acatlan, otra corresponde con el Conglomerado Numí, 11 corresponden a la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas, 5 a la Formación Simón, 1 a la Formación Otatera y finalmente otra más es correspondiente a las lavas almohadillas del Cenozoico. Las muestras fueron colectadas en las proximidades de Tlaxiaco, Oaxaca, principalmente en los márgenes del Río Numí y en el camino de terracería hacia San Juan Mixtepec y sus proximidades.

A continuación se presentan los resultados obtenidos, como son porcentajes de los materiales constituyentes, tamaño y forma de los clastos, selección de ellos y su clasificación en base al diagrama de Dott (1964) modificada por Pettijhon (1974), además de una foto representativa de cada una de ellas.

3.2.1 Descripción macroscópica y microscópica

Las unidades estratigráficas presentan las siguientes características:

>Complejo Acatlán:

- Descripción macroscópica: Se encontraron tres tipos de rocas metamórficas que corresponden con esquistos de clorita, gneiss y esquistos de muscovita. Los esquistos de clorita son color pardo oscuro al intemperismo y color verde oscuro al fresco (fig. 3.6), los gneisses son de color blanco, mientras que los esquistos de muscovita se encuentran con un alto grado de intemperismo.



Fig. 3.6 Contacto entre el Complejo Acatlán y el Conglomerado Numí, en el margen del Río Numí.

- Descripción microscópica: se realizó el análisis de una muestra obtenida de dicho Complejo, su contenido mineralógico de mayor a menor porcentaje es clorita, cuarzo, feldespato y biotita; además de algunos cristales de sericita. Presenta una textura foliar, clasificándose como un esquistos de clorita (fig. 3.7).

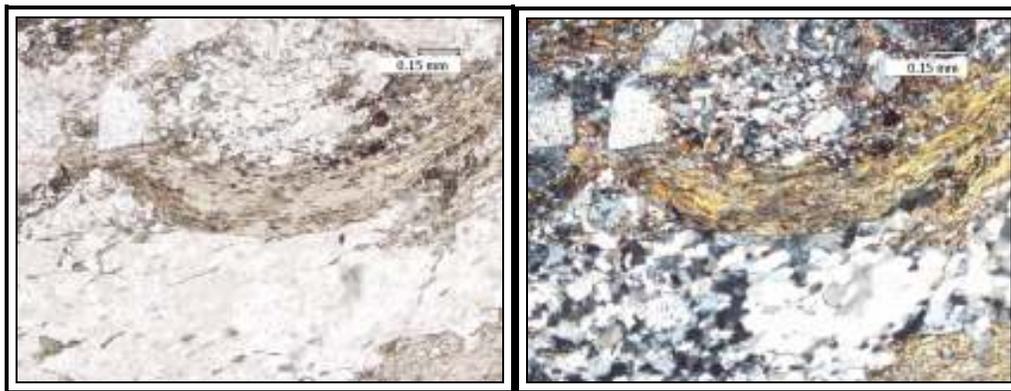


Fig. 3. 7 Muestra del Complejo Acatlán vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

>Conglomerado Numí:

- Descripción macroscópica: unidad conglomerática, la cual se encuentra formada por clastos de mayor a menos porcentaje gneiss, esquistos de clorita y mica, y cuarzo (fig. 3.8); estos clastos van de subangulosos a angulosos y su tamaño varía desde unos 1.5 cm hasta 45 cm. Presenta un color gris con clastos verdes oscuros; al intemperismo tienen un color rojizo; la fuente principal de los clastos que componen a la unidad provienen del Complejo Acatlán. En la base de la unidad conglomerática los clastos están clastosoportados, mientras que hacia la cima se encuentran soportados por una matriz de arenas medias. Este conglomerado se encuentra reportado como Conglomerado Cualac, pero debido a las características presentes no corresponde con dicha formación, por lo tanto se le nombra como Conglomerado Numí.



Fig. 3.8 Conglomerado Numí. A la derecha la parte basal clastosoportada de esta unidad, a la izquierda la parte media y de la cima del conglomerado con matriz arenosa.

Afloramientos localizados en los márgenes del Río Numí.

- Descripción microscópica: se obtuvo una muestra de la parte superior de esta Formación.
 - CN-1: Esta compuesto por clastos de líticos los cuales son gneiss con un porcentaje del 60 %, y esquistos alrededor de un 20 %, y cuarzo con 5%. Además contiene micas principalmente muscovita y minerales opacos alrededor de un 6%. Contenidos en una matriz arcillosa de alrededor del 10%. Los clastos son subangulosos, la muestra se encuentra mal clasificada. Se clasificó como un conglomerado polimíctico (fig. 3.9).

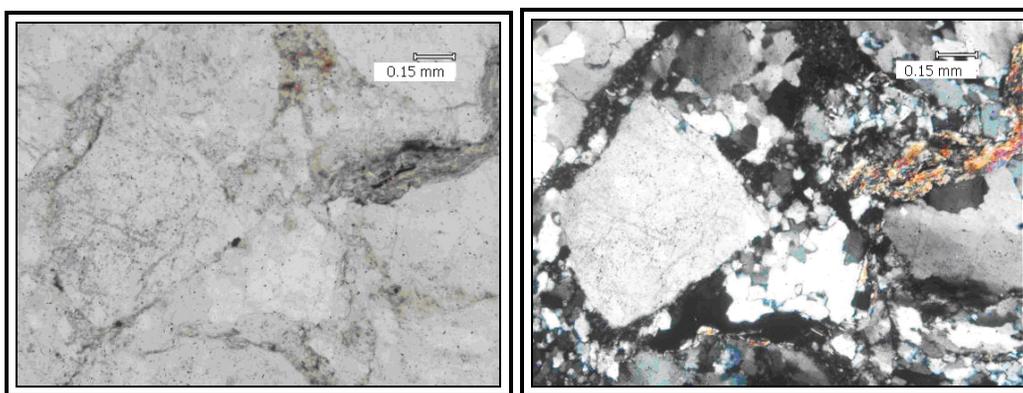


Fig. 3. 9 Muestra del Conglomerado Numí vista a través del microscopio petrográfico. Ala izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

>Formación Zorrillo- Taberna Indiferenciadas: presenta tres litologías (lutitas, litarenitas y grauvacas).

-Lutitas:

- Descripción macroscópica: tienen un color al intemperismo de pardo rojizo y al fresco son de color gris oscuro. Presenta una variación en su contenido de materia orgánica (fig. 3.10), ya que en algunos intervalos contiene carbón en forma de cuerpos lenticulares, los cuales aumentan tanto la cantidad de ellos como su espesor al final de dicha formación, alcanzando espesores de hasta 1.5 m; estos horizontes de carbón son discontinuos. La flora fósil es muy abundante y bien preservada tanto en las lutitas como en el carbón. Se encuentra en general en estratos delgados, aunque en algunos casos alcanzan un espesor de hasta 1.2 m. La flora fósil esta compuesta principalmente de bennettitales, equisetos y helechos, además de semillas. localizadas en el margen del río Numí.



Fig. 3.10 Carbón contenido en estratos de lutita, localizado entre el camino de terracería y el Río Numí.

-Litarenitas:

- Descripción macroscópica: estas rocas (fig. 3.11) presentan color pardo rojizo al intemperismo, mientras que al fresco tienen un color gris oscuro; se encuentran formadas por clastos de líticos, y cuarzo en menor cantidad. Estos clastos son de tamaño de arenas medias y gruesas, en gran mayoría subangulosos, aunque también subredondeados, con muy poca matriz arcillosa, en general se encuentran clastosoportados. Forman estratos irregulares con espesores entre 0.2 y 1.2 m. Contienen óxido de Fe.



Fig. 3.11 Litarenitas ubicadas en el margen del Río Numí.

- Descripción microscópica: de las muestras obtenidas de esta formación, se clasificaron 6 como litarenitas, a continuación la descripción de cada una de ellas.
 - ZT-L1 (Numí I): Presenta un contenido mineralógico de cuarzo del 50 %, líticos provenientes del Complejo Acatlán de alrededor de un 37 %, feldespatos solo un 5 %; además de minerales opacos y micas (muscovita) en un 3 %. Los clastos van de subangulosos en su mayoría a subredondeados, su tamaño varia de arenas gruesas a medias. En su mayoría los clastos se observan granosportados, tiene una matriz que representa el 5 % compuesta de granos muy finos de cuarzo. La muestra se encuentra moderadamente seleccionada. Se clasificó como Litarenita (fig.3.12).

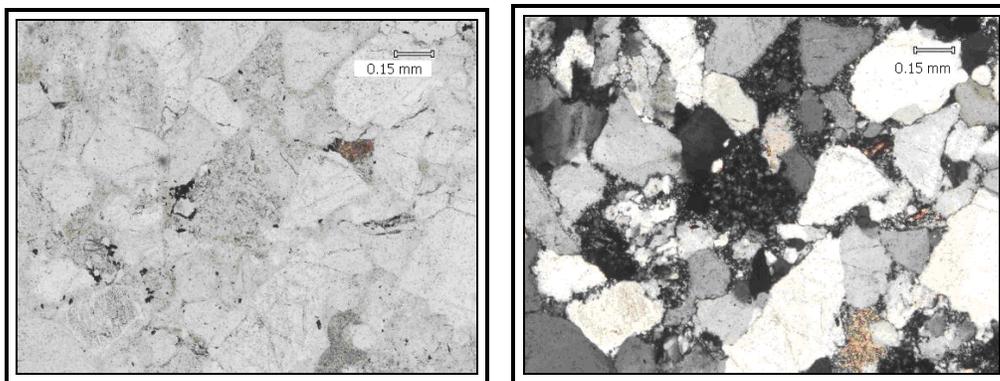


Fig. 3. 12 Muestra ZT-L1 vista a través del microscopio petrográfico. Ala izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- ZT-L2 (Numí 1-A): Se presenta un contenido mineralógico de cuarzo con un porcentaje del 43%, líticos alrededor de un 40%, con un 2 % de feldespatos, los minerales accesorios son micas y minerales opacos con un 5 %. Los clastos son subangulosos, con un tamaño de arenas media; presenta matriz arcillosa con un porcentaje del 10 %. La muestra presenta clastos moderadamente seleccionados. La clasificación corresponde con una Litarenita (fig. 3.13).

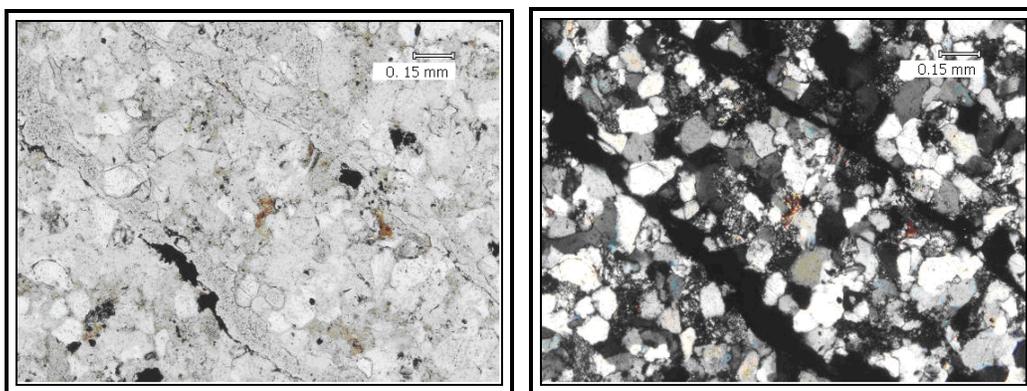


Fig. 3. 13 Muestra ZT-L2 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- ZT-L3 (Numí 2-A): Presenta un contenido mineralógico de cuarzo del 44 %, líticos con un porcentaje del 40 %, los feldespatos representan solo un 5 %, además de minerales opacos alrededor de un 3 %. Los clastos son subangulosos con tamaño que varía de arenas gruesas a medias; la matriz es de arcillas la cual representa un porcentaje del 8 %. Los sedimentos se encuentra moderadamente seleccionados y contiene oxido de Fe como cementante. Presenta buena porosidad la cual disminuye donde las arenas son mas finas. La clasificación corresponde con una Litarenita (fig. 3.14).

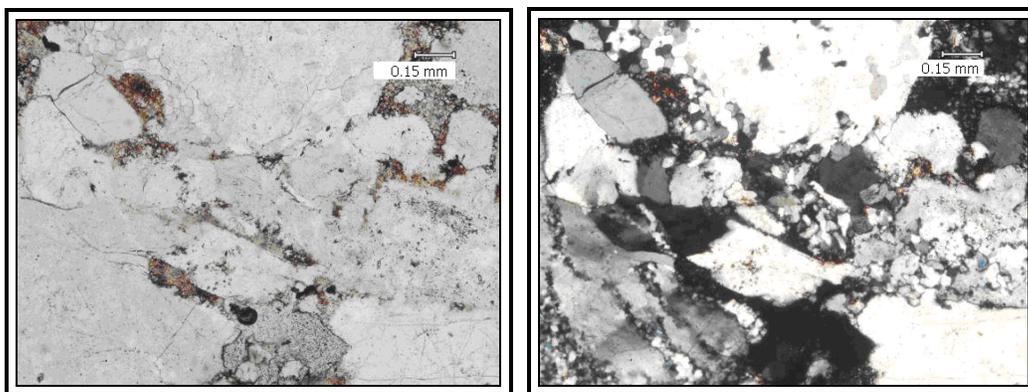


Fig. 3. 14 Muestra ZT-L3 vista a través del microscopio petrográfico. Ala izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- ZT-L4 (Numí A-3): Tiene un contenido mineralógico de cuarzo del 50%, los líticos alrededor de un 35%, feldspatos con 5%, además de algunos minerales accesorios como minerales opacos. Los granos en su mayoría son subangulosos, con tamaño de arena media a gruesa. Contiene un porcentaje menor al 15% de matriz. Se encuentra la muestra bien seleccionada. La clasificación corresponde con Litarenita (fig. 3.15).

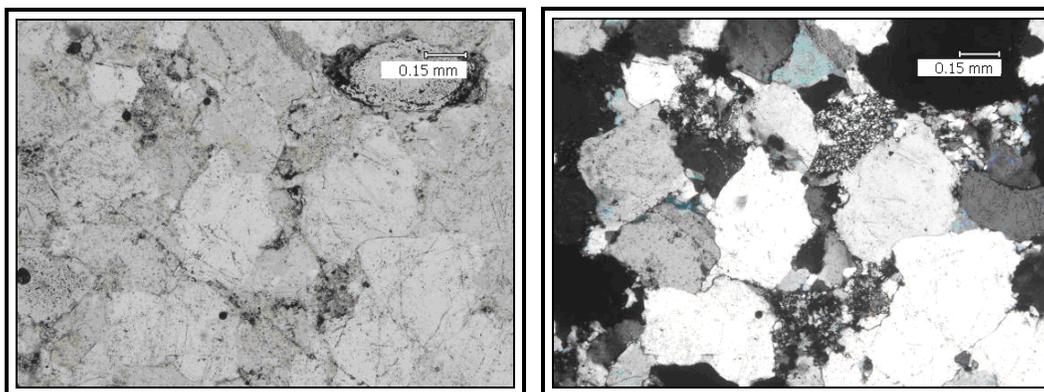


Fig. 3. 15 Muestra ZT-L4 vista a través del microscopio petrográfico. Ala izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- ZT-L5 (Numí Cima): Se presenta un contenido mineralógico de cuarzo con un porcentaje del 30% y líticos alrededor de un 40%, los minerales accesorios son micas y minerales opacos. Los clastos van de subangulosos a subredondeados, con un tamaño de arenas finas a medias. Presenta una matriz arcillosa con un

porcentaje menor al 15 %. Los granos se encuentran moderadamente seleccionados. Se clasificó como una Litarenita (fig. 3.16).

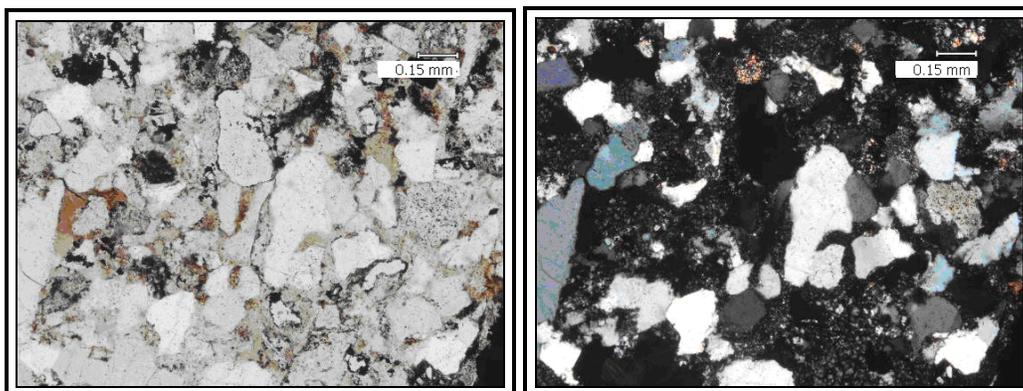


Fig. 3. 16 Muestra ZT-L5 vista a través del microscopio petrográfico. Ala izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- ZT-L6 (B-1): Presenta un contenido mineralógico de cuarzo del 48%, con líticos alrededor de un 40 %, feldspatos un 2 %, además de minerales opacos y micas un 5 %. Los clastos son subangulosos y subredondeados, su tamaño es de arenas medias. En su mayoría los clastos se observan clastosoportados, tiene una matriz arcillosa que representa el 5%. Los sedimentos se encuentran moderadamente clasificados texturalmente. Se clasificó como una Litarenita (fig. 3.17). Además presenta oquedades rellenas de calcita.

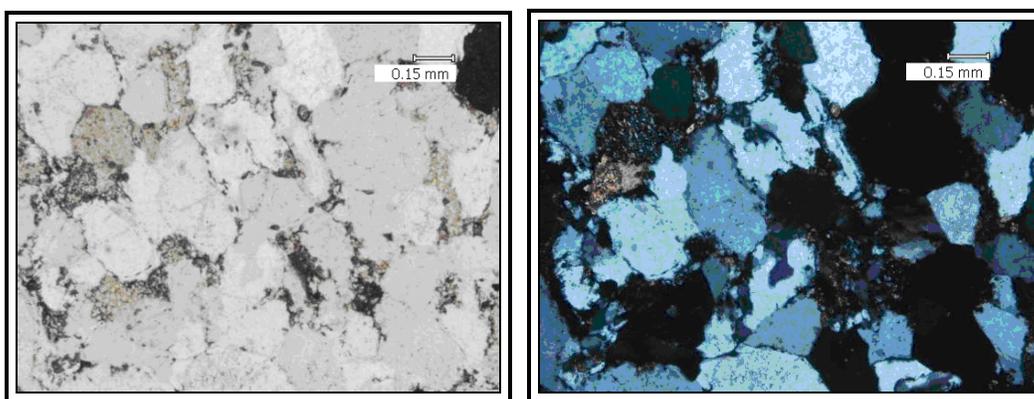


Fig. 3. 17 Muestra ZT-L6 vista a través del microscopio petrográfico. Ala izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

-Grauvacas:

- Descripción macroscópica: en general presentan un color pardo rojizo al intemperismo, mientras que al fresco un color gris. Los clastos que las conforman son de cuarzo en mayor cantidad y líticos provenientes del Complejo Acatlan. El tamaño de estos es de arenas finas en su mayoría, aunque se presentan algunos de tamaño de arenas gruesas, son subangulosos y se encuentran contenidos en una matriz arcillosa. Se encuentran en estratos irregulares con espesores .5 a 1.3 m. Contienen una mayor cantidad de oxido de Fe en comparación a las litarenitas, además de presentar marcas de carga (fig. 3.18).



Fig. 3.18 A la izquierda estrato de grauvacas intercalados con carbón. A la derecha las marcas de carga, entre el contacto de areniscas con lutitas. Localizados a un lado del camino de terracería, en las proximidades del Río Numí..

Además contienen huellas fósiles posiblemente de dinosaurios en la cima de un estrato de areniscas que aflora en el margen derecho del Río Numí (Fig. 3.19).



Fig. 3.19 Huellas probablemente de dinosaurio, localizadas en el margen del Río Numí.

- Descripción microscópica: Se analizaron en total 4 muestras de grauvacas correspondientes con la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas.
- ZT-G1 (Numí II): Se tiene un contenido mineralógico de cuarzo del 45%, de líticos alrededor de un 30%, feldespatos un 3 %, además de algunos minerales accesorios como micas 10% y opacos representando un 2%. Los granos en su mayoría son subangulosos y subredondeados, el tamaño de los clastos es de arenas medias. Contiene un porcentaje del 15 % de matriz, la cual se compone de arcillas; se encuentra la muestra moderadamente seleccionada. Contiene oxido de Fe rellenando las fracturas. La clasificación corresponde con una Grauvaca (fig. 3.20).

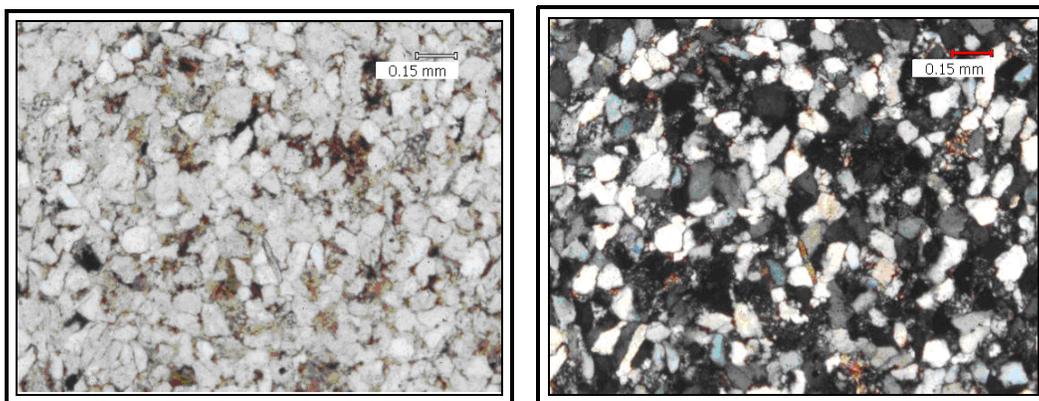


Fig. 3. 20 Muestra ZT-G1 vista a través del microscopio petrográfico. Ala izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- ZT-G2 (Numí III): El contenido mineralógico de esta muestra es alrededor de 45% líticos con un porcentaje del 35% cuarzo, feldespatos con un 2%, también se encuentran micas y minerales opacos con un porcentaje del 5 %. Los granos son subangulosos a angulosos, y el tamaño va de arenas medias a gruesas. La matriz de arcilla corresponde con un 15%. Los clastos están pobremente clasificado. Esta roca corresponde con una Grauvaca Lítica (fig. 3.21).

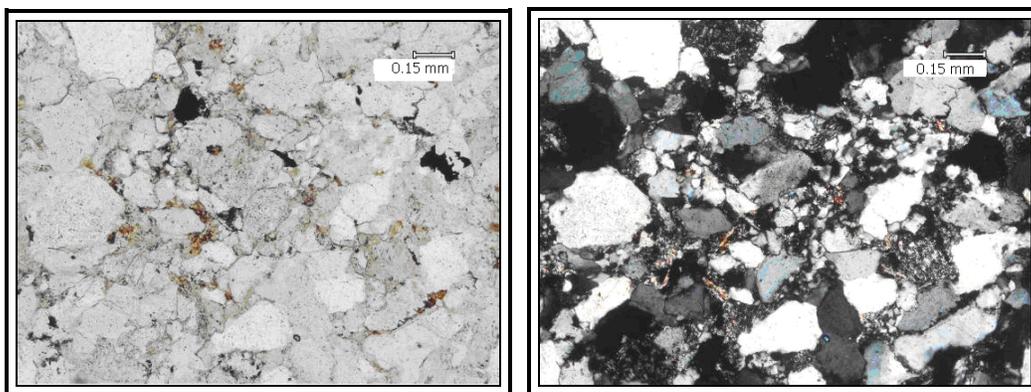


Fig. 3.21 Muestra ZT-G2 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados

- ZT-G3 (Numí A-4): El contenido mineralógico de esta muestra es de cuarzo alrededor de un 40% y con 30 % de líticos, tiene un porcentaje de matriz mayor al 15%, los minerales accesorios como micas representan el 10%. Los granos son angulosos, y el tamaño de ellos va de arenas finas a muy finas. Los clastos en su mayoría se encuentran clastosoportados y presentan buena clasificación textural. La clasificación corresponde a una Grauvaca litica (fig. 3.22).

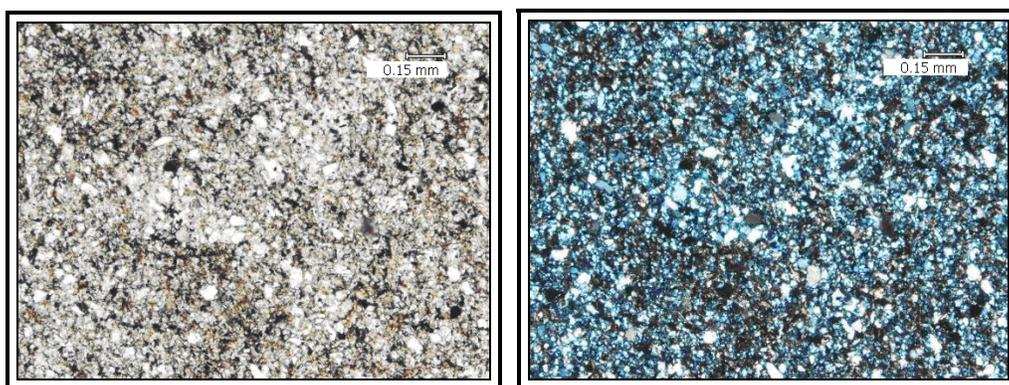


Fig. 3. 22 Muestra ZT-G3 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- ZT-G4 (B-5): El contenido mineralógico de esta muestra es de cuarzo alrededor de un 28% y con 40 % de líticos, tiene feldespatos alrededor de un 2%, además de micas, minerales opacos y óxidos de Fe con un 15 %, tiene un porcentaje de matriz arcillosa del 15%. Los granos son subangulosos, y su tamaño es de arenas finas y medias. Los clastos presentan una moderada clasificación textural. La

clasificación de la muestra corresponde con una Grauvaca lítica (fig. 3.23). La matriz arcillosa se encuentra en algunas partes remplazando a los feldespatos.

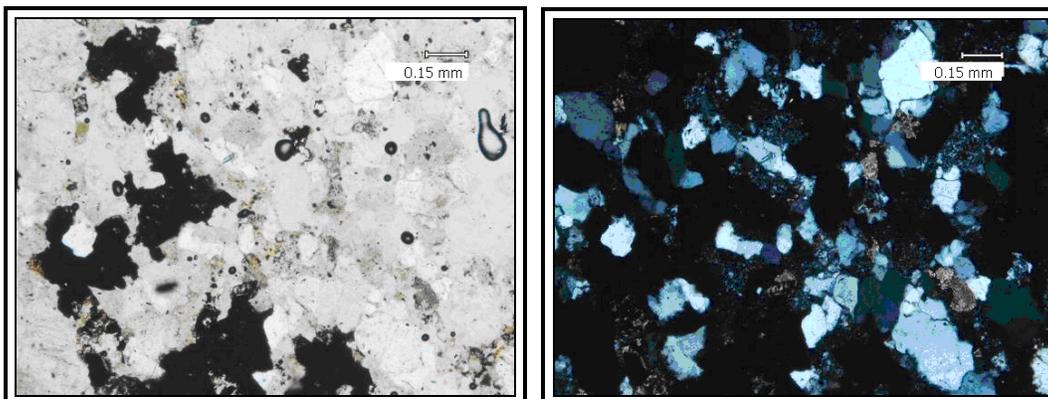


Fig. 3. 23 Muestra ZT-G4 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

Además se identifico una muestra correspondiente a una cuarzoarenita, la descripción a continuación.

- ZT-C1 (B-3): Se presenta un contenido mineralógico de cuarzo con un porcentaje del 68%, y líticos alrededor de un 20%, con feldespatos con un 2% los minerales accesorios son micas y minerales opacos con un 5 %. Los clastos son subangulosos y subredondeados, con un tamaño de arenas gruesas a medias. Presenta una matriz arcillosa con un porcentaje menor alrededor del 3 %, por lo que en general los clastos están en contacto entre ellos. Los sedimentos se encuentra bien seleccionados. Se clasifico como una Cuarzoarenita (fig. 3. 24).

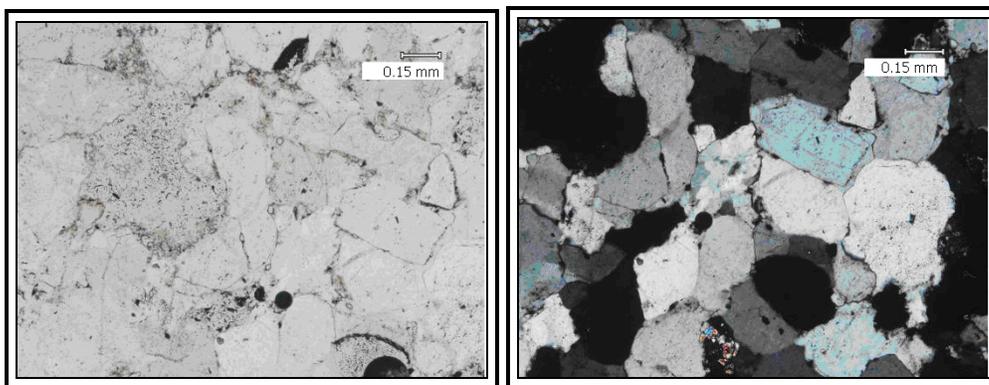


Fig. 3. 24 Muestra ZT-C1 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

>Formación Simón:

- Descripción macroscópica: Se presentan areniscas intercaladas con lutitas (fig.3.25), con una menor proporción de ellas hacia la cima. Las areniscas tienen color pardo claro al intemperismo, mientras que al fresco tienen un color gris oscuro. Predomina el cuarzo en contenido de clastos, además de líticos y feldespatos. El tamaño de los clastos va de arenas gruesa a finas. Su contenido de matriz en las areniscas varía por lo que se tienen litarenitas y grauvacas, además de cuarzoarenitas. Se encuentran zonas de estratificación cruzada, con estructuras correspondientes a marcas de carga y rellenos de canal; además contiene de nódulos y costras de Fe.

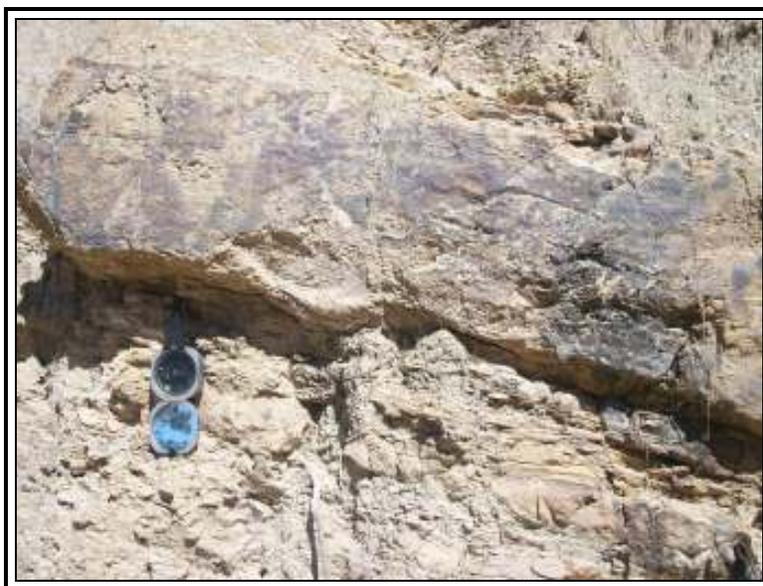


Fig. 3.25 Intercalación de areniscas con lutitas, afloramiento en el camino de terracería hacia San Juan Mixtepec.

- Descripción microscópica: Se describieron 5 muestras de areniscas, correspondiendo 3 a grauvacas, una a una litarenita y además de una cuarzoarenita.
- S-G1 (TL-3): Presenta un contenido mineralógico de cuarzo con un porcentaje del 35%, y líticos alrededor de un 30%, contiene un porcentaje alto de feldespatos alrededor de un 10 % los minerales accesorios son micas y minerales opacos que corresponden con un 4%. Los clastos son subangulosos, con un tamaño de arenas gruesas a medias. Presenta una matriz arcillosa con un

porcentaje alrededor del 20%. La muestra presenta clastos mal seleccionados. Se clasifico como una Grauvaca lítica (fig. 3.26).

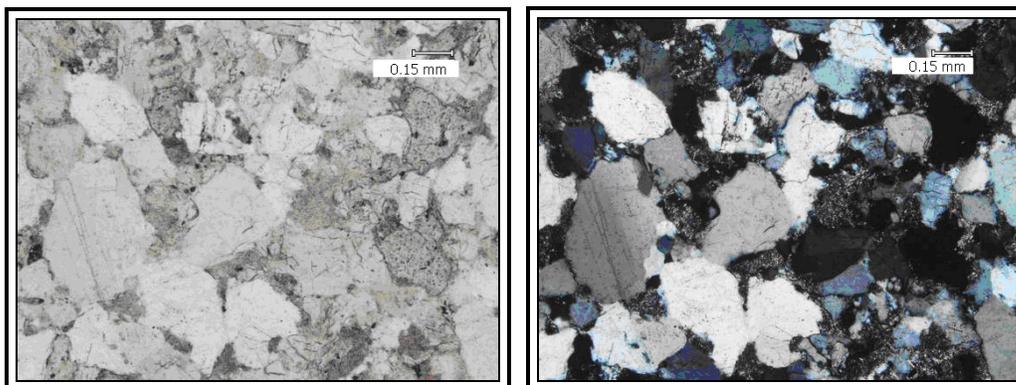


Fig. 3. 26 Muestra S-G1 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- S-G2 (TL-5): Presenta un contenido mineralógicamente de cuarzo del 40 %, los líticos alrededor de un 15 %, feldespatos un 1 %, además de minerales opacos, micas (muscovita) y óxidos con un 10 %. Los clastos son subangulosos a angulosos, su tamaño va de arenas medias a finas, con una matriz arcillosa que representa alrededor del 35%. Los granos se encuentran muestra mal clasificados. Se clasificó como una Grauvaca lítica (fig.3.27).

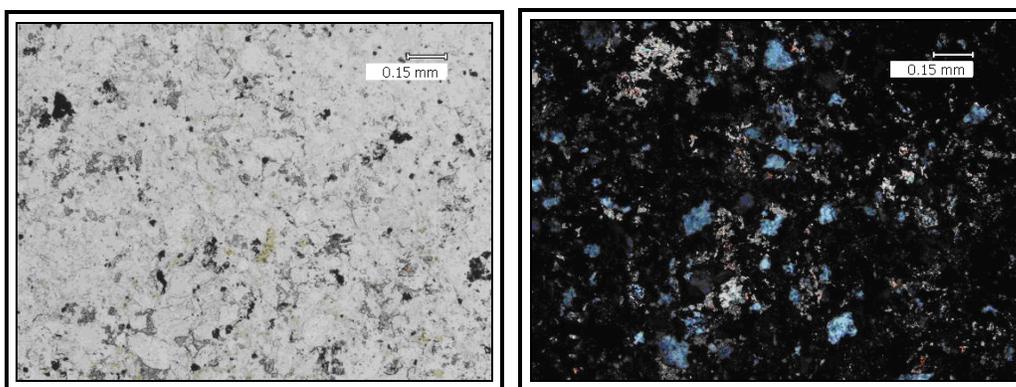


Fig. 3. 27 Muestra S-G2 vista a través del microscopio petrográfico. Ala izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- S-G3 (TL-7): Se presenta un contenido mineralógico de cuarzo con un porcentaje del 50%, y líticos alrededor de un 20%, feldespatos con 1%, los minerales accesorios son micas y minerales opacos que en conjunto

corresponden con un 10%. Los clastos son subangulosos y subredondeados, con un tamaño de arenas gruesas a medias. Presenta una matriz arcillosa con un porcentaje alrededor del 20%. La muestra se encuentra mal seleccionada. Se clasificó como una Grauvaca lítica (fig. 3.28).

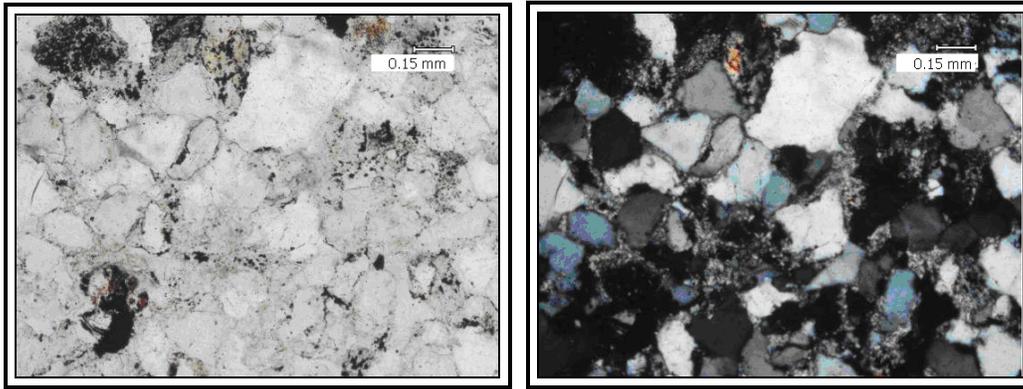


Fig. 3. 28 Muestra S-G3 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- S-L1 (TL-6): El contenido de esta muestra es de cuarzo alrededor de un 45% y con 40 % de líticos, feldespatos solo un 1%, además de minerales opacos con un 6% y la matriz arcillosa es de un 8%; los clastos en su mayoría se encuentran clastosoportados. Los granos son subangulosos, y el tamaño de ellos va de arenas gruesas a medias. La selección de los clastos es de moderadamente clasificados. La clasificación es una Litarenita (fig. 3.29). Algunas partes presentan mas cantidad de matriz, no tiene una porosidad homogénea.

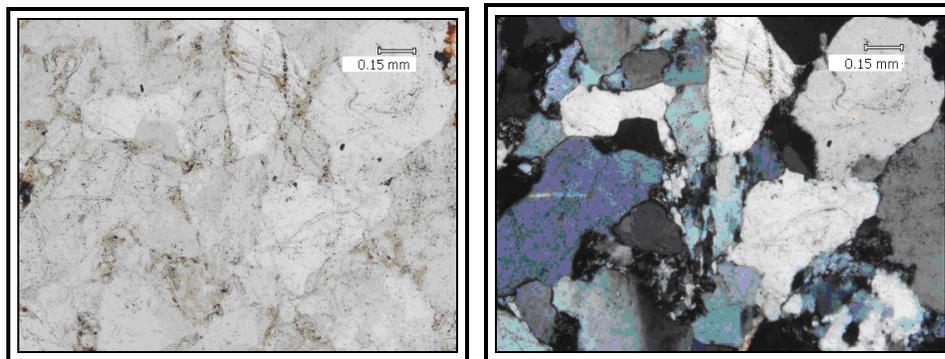


Fig. 3. 29 Muestra S-L1 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- S-Q1 (TL-7-A): El contenido mineralógico de esta muestra es de cuarzo alrededor de un 50% y con 35 % de líticos, feldespatos solo un 1%, además de minerales opacos y oxido de Fe con un 6%. La matriz arcillosa es de un 8%, los clastos en su mayoría se encuentran clastosoportados. Los granos son subangulosos, y el tamaño de ellos va de arenas gruesas a medias. La selección de los clastos corresponde con moderadamente clasificada. La roca corresponde a una cuarzoarenita (fig.3.30). Presenta clastos retrabajados.

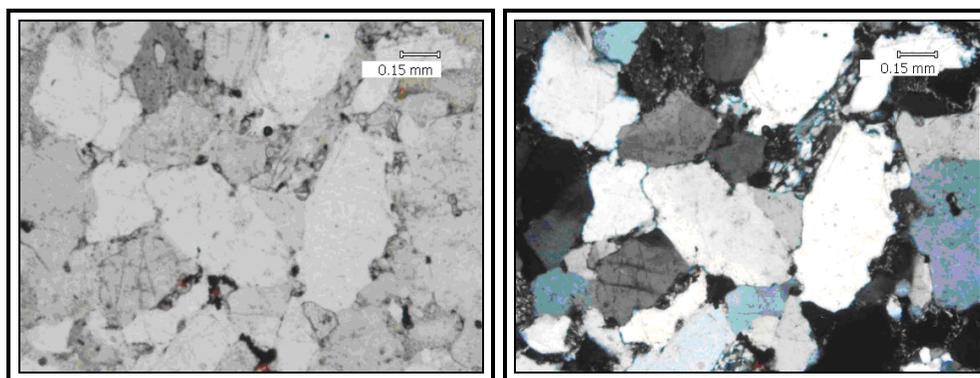


Fig. 3. 30 Muestra S-Q1 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

>Formación Otatera:

- Descripción macroscópica: Presenta areniscas de color pardo oscuro al intemperismo, y pardo claro al fresco. Son areniscas de grano fino, con clastos de tamaño de arenas finas y medias. En su mayoría estos clastos son de cuarzo, contenidos en una matriz arcillosa. También se encuentra constituida por coquinas de color negro.
- Descripción microscópica: Se obtuvo una muestra de esta Formación, la cual corresponde con una grauvaca.
- O-G1 (B-6): Presenta un contenido mineralógico de cuarzo con un porcentaje del 60%, y líticos alrededor de un 13%, feldespatos con 1%, los minerales accesorios son micas y minerales opacos que representan un 6%. El tamaño de los clastos es de arenas finas y medias, las arenas finas son subangulosas y las medias son subredondeadas. Con una matriz arcillosa con un porcentaje

alrededor del 20%. Los granos se encuentran moderadamente seleccionados. Se clasifica como una Grauvaca (fig.3.31). Presenta dos fuentes de aporte de material.

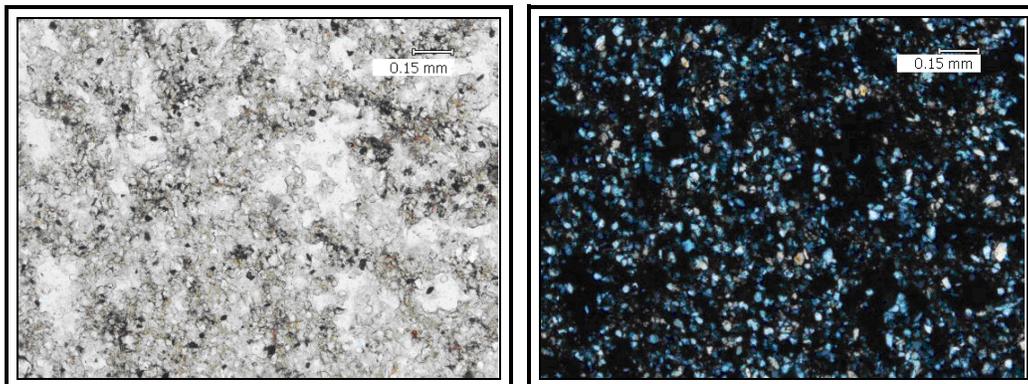


Fig. 3. 31 Muestra O-G1 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

>Lavas almohadillas y derrames

- Descripción macroscópica: Rocas ígneas extrusivas de color pardo claro al intemperismo, y color gris oscuro al fresco. Con composición basáltica, depositadas en forma de derrames (fig. 3.32) y lavas almohadillas. Contiene andesina, anfíboles y piroxenos.

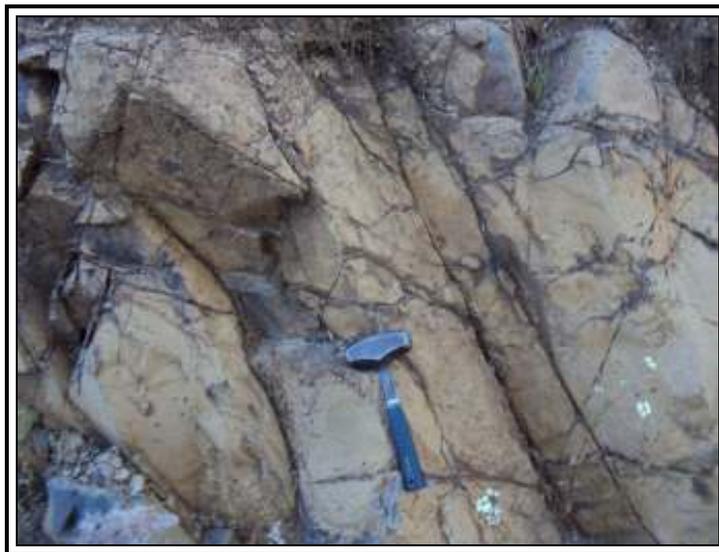


Fig. 3.32 Derrames localizado en la parte norte del municipio de Tlaxiaco

- Descripción microscópica: Se realizó una lámina delgada de una lava almohadilla.
- LA-1: Contiene principalmente en mayor porcentaje cristales de andesina, además de cristales de olivino y augita, por lo que se clasifica como un basalto de olivino (fig. 3.33).

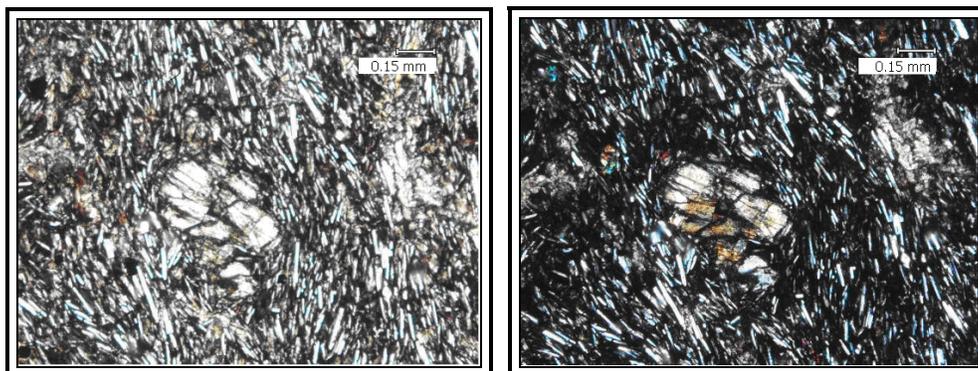


Fig. 3. 33 Muestra O-G1 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

3.3 Fósiles.

Los fósiles que se encontraron en la Formación Zorrillo- Taberna Indiferenciadas son de plantas, que son abundantes en las proximidades de las capas de carbón, en los horizontes de lutitas, aunque también se encontraron algunos en las areniscas de grano fino. A continuación se presentan los grupos encontrados y las especies pertenecientes a cada uno de ellos que pudieron ser determinados por Diego Lozano, del equipo de paleontología de la FES Zaragoza, coordinado por la Dra. Patricia Velasco de León:

- Benetiales:
 - *Zamites lucerensis* (fig. 3.34)
 - *Zamites oaxacensis*
 - *Zamites tribulosus*
 - *Zamites feneonis*
 - *Zamites sp*
 - *Otozamites hespera*
 - *Otozamites obtusus*



Fig. 3.34 Ejemplar de *Zamites lucerensis*, contenido en una grauvaca de grano fino, en la localidad del Río Numí.

- *Otozamites sp*
- *Ptilophyllum pulcherrium*
- *Ptilophyllum acutifolium*
- *Ptilophyllum cutchense*
- *Ptilophyllum sp*
- *Pterophyllum nathorsti*
- *Pterophyllum espinosum*
- *Williamsoniaceae* (fig. 3.35)



Fig. 3.35 Ejemplar de *Williamsonia*, encontrado en una grauvaca de grano fino, en la localidad del Río Numí.

- Helechos:
 - *Piazopteris branneri* (fig.3.36)
 - Helecho morfotaxon A



Fig. 3.36 Ejemplar de *Piazopteris branneri*, conservado en una lutita con carbón, en la localidad de Río Numí.

- Equisetos (fig. 3.37):



Fig. 3.37 Ejemplar de *Equisetum sp.*, encontrado en una grauvaca de grano fino, en la localidad del Río Numí.

- Coníferas:
 - *Noeggerathiopsis hislopi* (fig. 3.38)
 - *Podozamites sp*

- *Pelourdia sp*
- *Elatocladus sp*



Fig. 3.38 Ejemplar de *Noeggerathiopsis hislopi*, conservado en una grauvaca de grano fino, en la localidad del Río Numí.. .

- Plantas fósiles de posición incierta:
 - *Mexiglosa varia* (fig. 3.39)
 - *Trigonocarpus oaxacensis* (fig. 3.39)



Fig. 3.39 A la izquierda ejemplar de *Mexiglosa varia*, y a la derecha una semilla fósil *Trigonocarpus oaxacensis*, los dos ejemplares fueron encontrados en lutitas con carbón en la localidad del Río Numí.

- Ginkgoales (Fig. 3.30):



Fig. 3. 40 Ejemplar de *Ginkgoal* conservado en una lutita carbonosa en la localidad del Río Numí.

Además se encontraron ejemplares de algunas raíces y otros ejemplares de tallos y hojas a los cuales se les agrupo como morfotaxon, ya que no pueden ser distinguidas las características específicas del ejemplar, entre las cuales destacan posibles angiospermas (Fig. 3.41).



3.41 Hoja fósil de posible angiosperma ya que se observa la principal a todo lo largo de la parte central de la hoja, esta conservada en una lutita carbonosa de la localidad de Río Numí.

3.4 Litofacies.

Selley (1970) define a una facies como al conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros, con base en su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles. La litofacies se encuentra referida principalmente al sentido litológico de la roca.

Miall (1977) elaboró una clasificación sobre litofacies y sus estructuras sedimentarias característicos de un sistema fluvial (tabla 3.5).

Código de facies	Litofacies	Estructuras sedimentarias
Gms	Gravas masivas con textura no granostenida.	Ninguna
Gm	Gravas masivas o algo estratificadas	Estratificación horizontal, imbricación.
Gt	Gravas estratificadas	Estratificación cruzada
Gp	Gravas estratificadas	Estratificación cruzada planar
St	Areniscas, a veces con cantos.	Estratificación cruzada
Sp	Areniscas, a veces con cantos.	Estratificación cruzada planar
Sr	Areniscas	Ripples de diversos tamaños
Sh	Areniscas	Laminación horizontal
Se	Niveles erosivos con cantos de cuarzo	A veces estratificación cruzada poco marcada
Ss	Arenisca, a veces con cantos	Estratificación cruzada, sensiblemente paralela a nivel basal erosivo
Fl	Limos, arcillas	Laminación paralela o ripples
Fm	Limos, arcillas	Masivos
Fr	Limos, arcillas	Raíces y restos vegetales
P	Carbonatos	Caracteres edáficos
B	Limos, arcillas a veces areniscas	Bioturbación

Tabla 3.5 Descripción de litofacies para sistemas fluviales (Tomada de Miall, 1977).

Los depósitos aluviales entrelazados se forman en tres tipos de ambientes: ríos entrelazados, abanicos aluviales y llanuras aluviales (Arche, 1992). Miall (1977, 1978) menciona diferentes tipos de secuencias de sedimentación en este tipo de depósitos aluviales. En la parte proximal se tiene una secuencia tipo Scott y Donjek como ocurre con el Conglomerado Numí y la parte basal de la Formación Zorrillo-Taberna

Indiferenciadas, y para la parte distante se Saskatchewan como presenta la parte superior de la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas (Fig. 3.42).

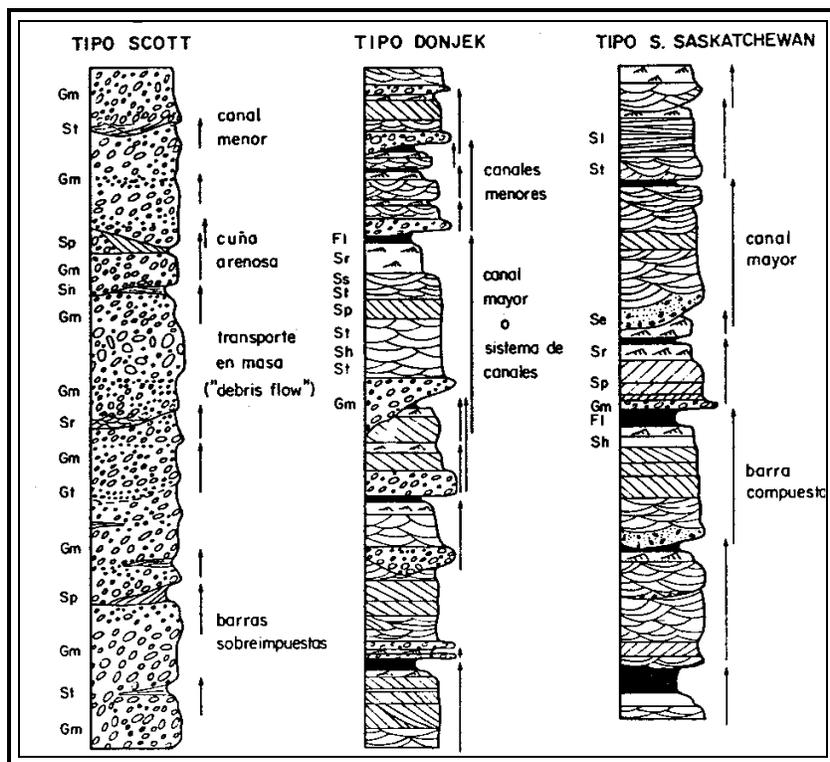


Fig. 3.42 Secuencias sedimentarias de sistemas fluviales (Tomada de Arche, 1992).

Dentro del área de estudio se presentan secuencias tipo Scott y tipo Donjek para el Conglomerado Numí y para la base de la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas, en la cual se encuentran las litofacies Gms, Gm, Sh, Fr y B, esto junto con facies proximales de un abanico aluvial y de un río meandrónico. Además de facies de llanura deltaica de un delta, esto con secuencias tipo Saskatchewan con las litofacies Fl y Sp, en la parte superior de la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas, donde está el mayor contenido de carbón.

En la columna medida, en base a las características que separan a una facies de otra, se mencionan las siguientes:

- F1-Conglomerado clastosoportado: El tamaño de las partículas van de arenas gruesas a clastos de hasta 30 cm. En su mayoría los clastos son de líticos como esquistos y gneisses, además de cuarzo metamórfico; los clastos son

subangulosos a angulosos. Contiene un porcentaje mínimo de matriz, en general los clastos se encuentran en contacto entre ellos. Se presenta en forma masiva sin alguna estructura sedimentaria, los clastos están desorientados; su depósito ocurrió en un abanico aluvial.

- F2-Conglomerado con matriz: Los clastos van de arenas medias a clastos de 45 cm de diámetro, estos son de gneiss, esquistos y cuarzo metamórfico, e incluso del mismo conglomerado re TRABAJADO; van de subredondeados a subangulosos. Están contenidos en una matriz arcillo-arenosa. Se presentan en estratos irregulares de hasta 5 m, además contiene algunos horizontes de arenas gruesas. Su depósito corresponde con un flujo de escombros.
- F3-Lutitas: es la fracción fina de la secuencia clástica en ellas se encuentra preservado gran parte del material fósil además de contener lentes de carbón. Se presenta en estratos paralelos y continuos. Se deposita en condiciones de escasa o nula energía en periodos de inundación.
- F4-Areniscas sin matriz contiene clastos en su mayoría líticos, en general fragmentos de gneiss y en menor cantidad cuarzo y micas; contienen un porcentaje menor al 15 % de matriz arcillosa, por lo que en general están clastosoportados. El tamaño de clastos va de arenas gruesas a medias, estos en general son subangulosos. Se presenta en estratos irregulares. Representan condiciones de un ambiente fluvial de alta energía.
- F5-Areniscas con matriz arcillosa: contiene clastos en un porcentaje un poco mayor de cuarzo que de líticos, además de una porción considerable de micas. Estos clastos se encuentran contenidos en una matriz arcillosa con un porcentaje mayor al 15%. El tamaño de clastos es de arenas finas a muy finas, las cuales van de subangulosos a subredondeados; los estratos son de mayor espesor que los que contienen areniscas sin matriz arcillosa. Nos indican condiciones de baja energía en una llanura deltaica.

- F6-Carbón: se presenta en cuerpos lenticulares; indican condiciones de baja energía en la que se formaron zonas ocasionales pantanosas acumulándose gran cantidad de materia orgánica, originado el carbón.

3.5 Biofacies.

Una biofacies se encuentra íntimamente relacionada con el contenido biológico fósil en las rocas, asociando y separando de otras biofacies por medio de la asociación de una especie o grupo.

En el registro fósil de la columna medida de manera local en la formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas, se tienen Benetitales, además de conos, helechos, equisetos, coníferas, ginkgos y de posición incierta en el que se incluyen semillas, el porcentaje de la abundancia de cada uno de ellos se muestra en la siguiente gráfica:

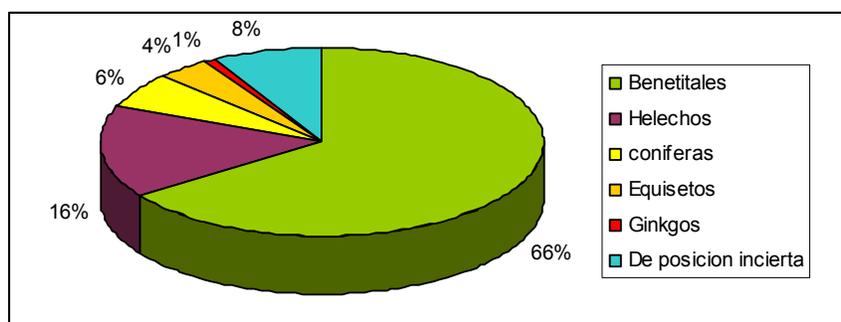


Fig. 3.43 Abundancia de los diferentes grupos de fósiles encontrados en la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas.

Se estudiaron en total 189 ejemplares y fueron identificadas 26 especies diferentes. Como se puede ver en la figura 3.43 el grupo fósil más importante en el registro de la columna son las Bennettitales, la especie más abundante de dicho grupo es *Zamites lucerensis*, con un total de 47 ejemplares, le siguen los helechos quienes se desarrollan en condiciones de humedad y temperatura de cálidas a tropicales. En la parte superior del registro fósil en la columna se tiene la presencia conos pertenecientes a las Bennettitales, además de helechos, equisetos, coníferas, ginkgos, semillas y posibles angiospermas. El área foliar, la cual es obtenida a partir del ancho por el largo de la pina, y multiplicado por un factor de corrección .66 en general para las de las Bennettitales es pequeña esto indica condiciones de temperaturas altas y una escasez de

agua. Los helechos y equisetos nos indican condiciones de humedad, es decir se encuentran ligados a una corriente fluvial o a una zona de clima húmedo. La comunidad de las Benetiales era madura y bien establecida esto se fundamenta en la presencia de los conos y semillas registrados en la columna. Las coníferas y los ginkgos que probablemente formaron un bosque y habitaron más alejados de la corriente de agua, al caer las hojas sufrieron transporte hasta esa área donde fueron depositados. En base a esto se puede interpretar la presencia de dos comunidades una alejada de la corriente y otra cercana a la misma (vegetación riparia) en el ambiente sedimentario de la parte superior de la formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas. El carbón se formo por la acumulación tanto de la comunidad alejada de la corriente fluvial como de la comunidad cercana a la corriente, esto posterior a periodos de inundación, en los que la energía era nula, por lo que se acumularon y depositaron en zonas pantanosas.

Además se encontraron ejemplares en malas condiciones de posibles angiospermas, ésto en base a las características observables en hojas fósiles, que es importante ya que se supone las angiospermas aparecieron a principios del Cretácico, y éstas se encontraron en rocas pertenecientes al Jurásico Medio.

3.6 Ambiente sedimentario

A inicios del Mesozoico se inició en la parte sur de México un proceso que ocasionó la subsidencia de varios bloques de la región, esto provocado por la apertura del Golfo de México; por lo tanto se tiene un proceso de rift que en una etapa inicial origino un ambiente continental relacionado a corrientes fluviales en un relieve abrupto. Con base en el análisis de las facies y sus asociaciones, y los fósiles encontrados, se interpretaron y proponen los siguientes ambientes sedimentarios.

En el Conglomerado Numí están presentes las facies F1 y F2, por lo que se puede interpretar que fue depositado en un ambiente continental relacionado con un relieve abrupto, debido a la apertura de la cuenca que originó horst y grabens. Se generaron fallas normales, lo que originó áreas con cierta elevación generando un relieve disconforme en los valles formados, al correr las corrientes fluviales provenientes de partes altas desgastaron y arrastraron material del Complejo Acatlán, depositándolo en el pie de monte formando un abanico aluvial y flujos de escombros con lodo y fragmentos de roca de diferente granulometría.

Un abanico aluvial es una acumulación de sedimentos en forma de cono formados en la parte baja de una elevación, originado cuando las corrientes emergen de las partes confinadas hacia las partes bajas hasta perder eficiencia de transporte; esta unidad se compone de dos tipos de sedimentos, uno depositado por corrientes fluviales y otro por flujos de gravedad. Se divide en tres partes proximal, medio y distante. La parte proximal esta conformada por conglomerados, la parte media por conglomerados y alternancia de areniscas, y la parte distal por areniscas. Así que mientras en parte proximal el tamaño del grano es creciente y su redondez disminuye, hacia la parte distal el tamaño del grano decrece y la redondez aumenta esto corresponde con lo que propone Einsele (2000).

Por las características de F1 se tiene un abanico aluvial en su parte proximal debido a la presencia de una unidad conglomeratica de clastos grandes e irregulares, la cual tiene como características que los clastos se encuentran clastosoportados y con dimensiones variables, con una pobre clasificación, además ser angulosos y subangulosos. Este fue generado por un relieve erosivo causado por escarpes originados por fallas normales, provocando que las corrientes que fluían de las partes altas arrastraran gran cantidad de material del basamento metamórfico emergieran del frente montañoso hasta el pie de monte dando origen a abanicos aluviales, en la desembocadura de cañones. Se depositaron de forma contemporánea flujos de escombros, representados por F2, generados por lluvias de alta intensidad lo cual originó que en las zonas inestables bajaran de las zonas elevadas grandes avalanchas de escombros con flujos de gravedad que por su mayor fuerza se desbordó arrastrando gran cantidad de material provenientes del basamento metamórfico y del mismo talud, esto se ve reflejado en los clastos de variable dimensión suspendidos en material arcillo-arenoso. El ambiente sedimentario donde fueron depositados estos sedimentos se muestra esquemáticamente en la Figura 3.44.

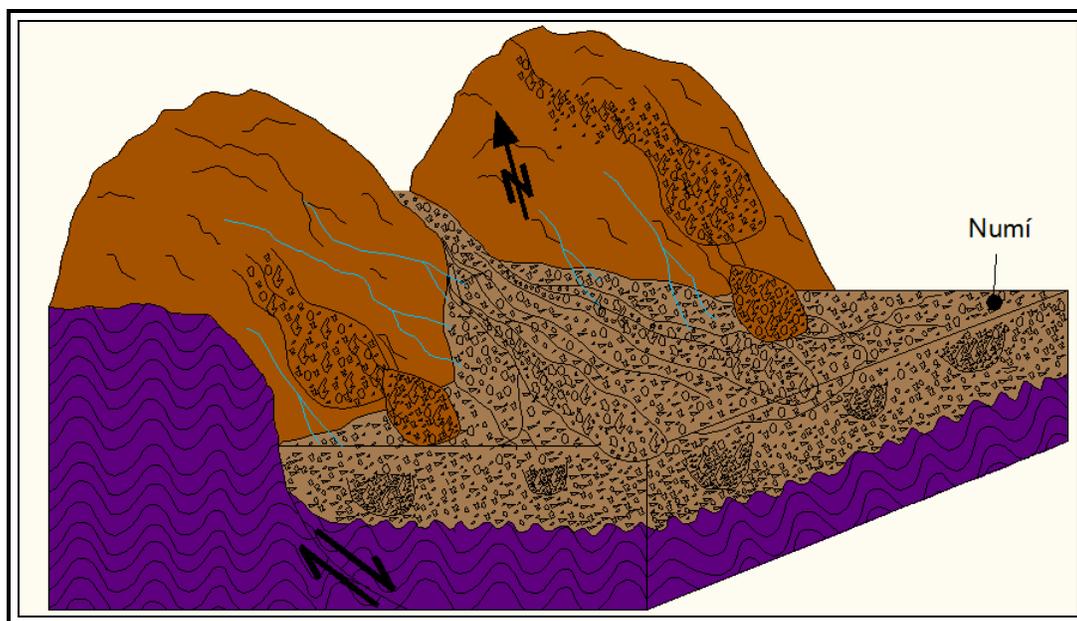


Figura 3.44. Modelo de ambiente sedimentario del Conglomerado Numí.

Las facies F4, F5 y F3 en la base de la Formación Indiferenciada Zorrillo-Taberna se interpretan como un ambiente de un río meandrítico, se tiene mayor presencia de la facies F4. Esto indica condiciones de alta energía al originarse el depósito de esta formación, por los clastos de variable dimensión, son angulosos y en su mayoría clastosportados, estas condiciones de alta energía estaban dadas por una corriente fluvial; esto posteriormente junto con llanuras de inundación, las cuales acumularon el material fino que se ve reflejado en las facies F3 y F5, indican que empezaron a tener condiciones de variable energía.

En la parte superior de esta misma formación se tiene la asociación de las facies anteriores junto con F6, interpretándose como un delta con lagos y pantanos en su proximidad.

Un delta es un complejo fluvial. Son estructuras de forma convexa que sobresalen en la zona de costa al desembocar un río, es originado por un exceso de aporte de sedimentos continentales sobre la redistribución que causan las olas, corrientes y mareas (Arche, 1992).

Un delta se divide en dos partes (fig. 3.45), una llanura deltaica la cual es la parte subárea, y el frente deltaico que se encuentra sumergida. Tanto la llanura deltaica como el frente deltaico se dividen en otros elementos de menores dimensiones.

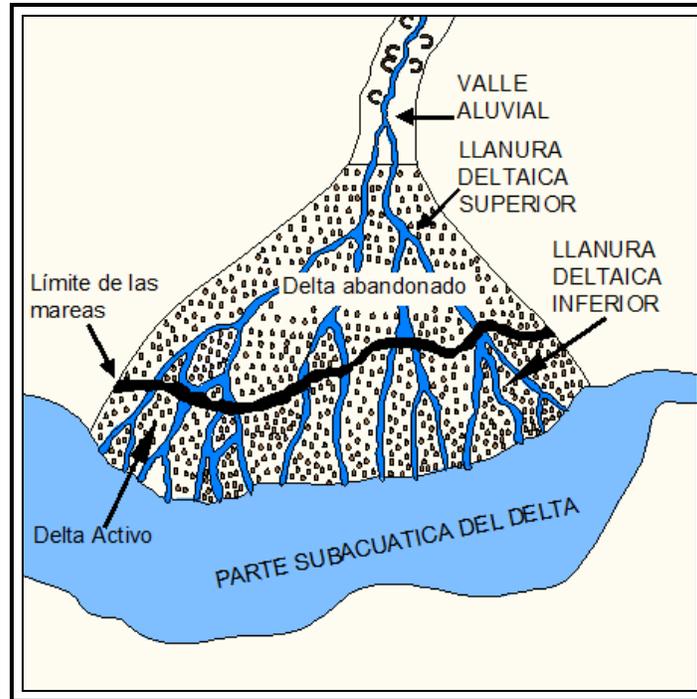


Fig. 3.45 Partes de un delta. Modificada a partir de Arche, 1992.

Los deltas se encuentran conformados por tres tipos de procesos la descarga fluvial, los procesos dinámicos relacionados con la parte marina y el régimen tectónico presente. Para su clasificación, Galloway (1975) usa un diagrama triangular, en el cual los elementos que lo componen son procesos fluviales, mareales y de olas puros (fig.3.46)

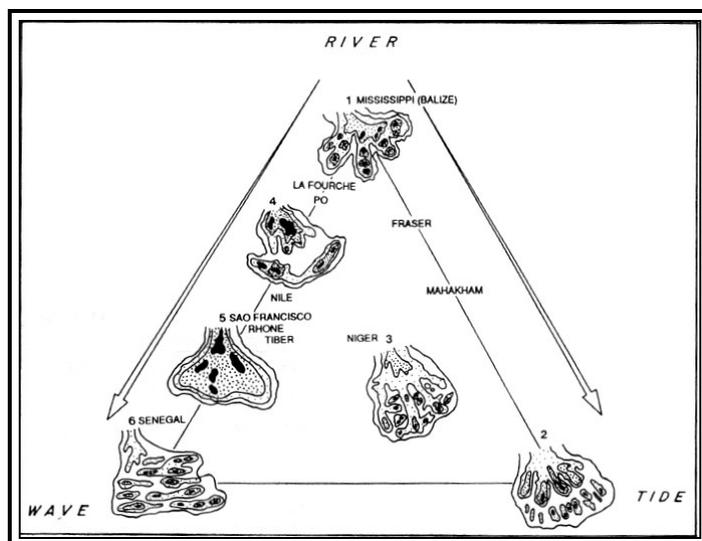


Fig. 3.46 Ejemplos de delta de acuerdo con la clasificación de Galloway (1975).

El delta fue alimentado por las corrientes fluviales provenientes de las zonas con alta pendiente debido a la subsidencia que aun continuaba, que al coincidir formaban un río de tipo meandrónico, el cual al llegar a la línea de costa dio origen al delta. El material que compone a la Formación Zorrillo-Taberna se depositó en la parte de la llanura deltaica superior, ya que no se tiene presencia de alguna estructura o evidencia de actividad marina muy directa, además que el registro fósil es meramente continental, en las proximidades de la línea de costa.

El delta presenta condiciones variables de energía como se ve a lo largo de la columna con las intercalaciones de las facies F4 y F5, ya que se tienen cambios en el tamaño y forma de grano, además del contenido de matriz arcillosa; los granos presentan un tamaño que varía de grano fino a medio, clastos subangulosos-subredondeados y una mayor cantidad de matriz arcillosa, estos parámetros indican condiciones de baja energía como se ve en las facies F4, al contrario de la facies F5 las cuales nos indican condiciones de mayor energía, al presentar clastos de variable dimensión, mas subangulosos hasta angulosos y con menor matriz arcillosa. La forma subangulosa de los clastos también indica condiciones mas secas que húmedas. Se tenían periodos en los que las corrientes fluviales corrían con una fuerza mayor, arrastrando gran cantidad de material hasta la llanura deltaica, aunque estos periodos eran cortos como lo reflejan los espesores de las areniscas con poca matriz arcillosa, aunque también estos periodos en ocasiones eran de menor energía. Al final de la formación Zorrillo-Taberna

Indiferenciadas se tiene mas presente la facies F5 por lo que se tuvieron al final del depósito de está, condiciones de mas baja energía.

La facies F3 indica condiciones donde la llanura deltaica era inundada debido a periodos en los que las lluvias en zonas cercanas provocaban el desbordamiento de las corrientes fluviales, al terminar estos periodos se originaban zonas pantanosas, esto en conjunto con la subsidencia continua ayudo a la acumulación de la materia orgánica en depresiones con baja energía, poco oxígeno y circulación restringida. Eran intercaladas con los periodos en donde había desde una alta energía a una baja energía, hasta llegar a presentarse una nula, donde se formaban pequeños lagos. Las coníferas y ginkgos eran arrastrados de zonas mas alejadas, mientras que los benetiales se encontraban mas cerca de las corrientes fluviales, por lo que hubo mayor depósito de ellos; los helechos y equisetos aunque no tan abundantes indican la presencia de corrientes fluviales en la zona, las cuales formaban parte de la llanura deltaica. Al acumularse toda esta materia orgánica, y continuar la subsidencia junto con procesos termales originó los abundantes cuerpos de carbón.

Se interpreta la presencia de una llanura deltaica en condiciones sub-húmedas a húmedas con periodos de inundación que daban lugar a zonas pantanosas de reducida duración, en las cuales se acumuló abundante materia orgánica vegetal, que dio lugar al carbón. Las condiciones de sedimentación se dieron en un clima semicalido con periodos cortos de condiciones húmedas esto provocado por lluvias intensas en las zonas altas de la región; posteriormente el clima fue más calido y con mayor precipitación pluvial. A continuación se presenta en la fig. 3.47 el ambiente sedimentario en el que se depositó esta secuencias de areniscas con lutitas, correspondiente a una llanura deltaica con algunas zonas pantanosas.

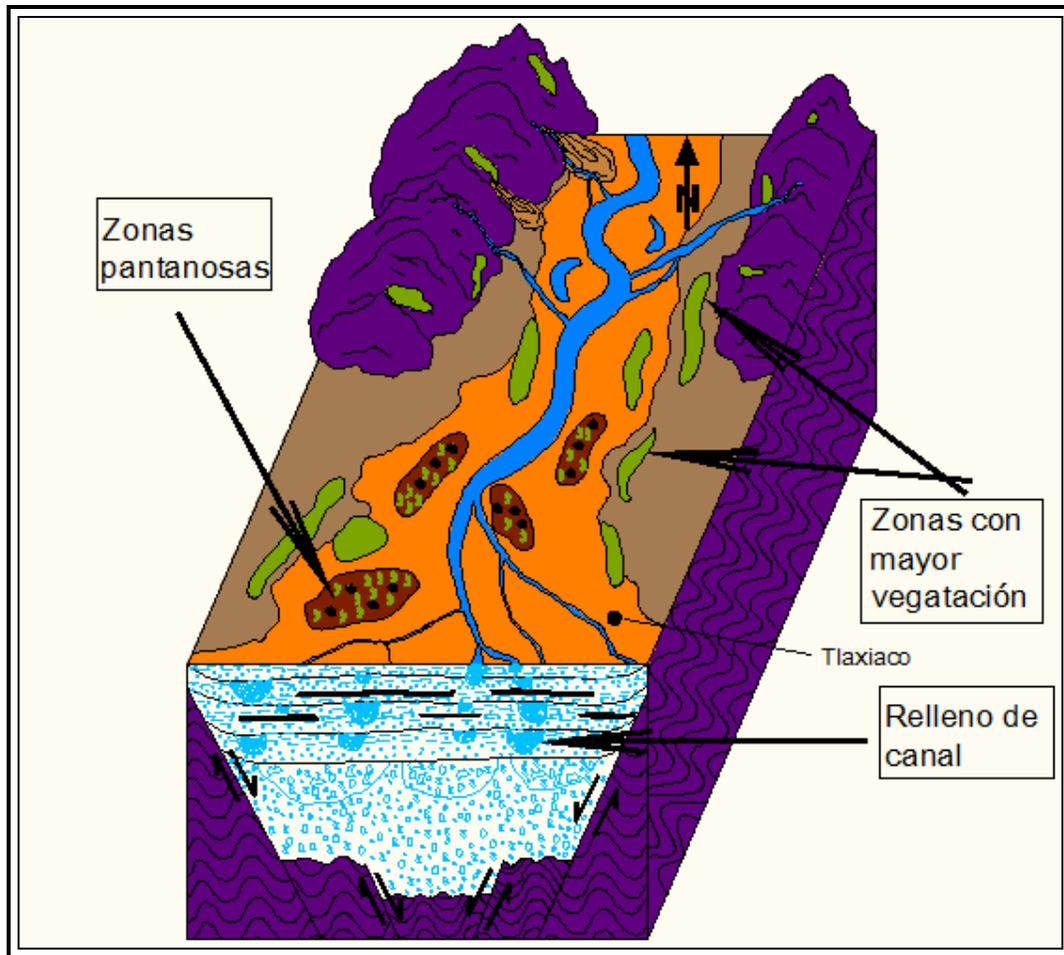


Figura 3.47. Modelo sedimentario de la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas.