

Reconstruyendo el pasado del planeta: El registro estratigráfico y sedimentológico de la Formación Tena en la carretera Tiwintza – Puerto Morona

Reconstruction the past of earth: Stratigraphic and Sedimentology record of the Tena Formation, Tiwintza – Puerto Morona road

Christian Romero¹, Marco Rivadeneira², Edison Calderon³,
Mariuxi Naranjo⁴, Marilyn Meneses⁵, Ana Gramal⁶, Silvia Toainga⁷

¹ Dirección de Innovación, Instituto de Investigación Geológico y Energético, De las Malvas E15-142 y De los Perales, Quito-Ecuador. wladimir.romero@geoenergia.gob.ec

² Docente de la Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. marco.rivadeneira@epn.edu.ec

³ Dirección de Innovación, Instituto de Investigación Geológico y Energético, De las Malvas E15-142 y De los Perales, Quito-Ecuador. ana.gramal@geoenergia.gob.ec

⁴ Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. mariuxi.naranjo@epn.edu.ec

⁵ Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. marylin.meneses@epn.edu.ec

⁶ Dirección de Transferencia Tecnológica e Incubación, Instituto de Investigación Geológico y Energético, De las Malvas E15-142 y De los Perales, Quito-Ecuador. ana.gramal@geoenergia.gob.ec

⁷ Dirección de Innovación, Instituto de Investigación Geológico y Energético, De las Malvas E15-142 y De los Perales, Quito-Ecuador. silvia.toainga@geoenergia.gob.ec

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 12-09-2019

Fecha de aceptación: 22-10-2019

Resumen

En el camino desde Tiwintza a Puerto Morona se observan extensos y continuos afloramientos de la secuencia sedimentaria cretácica. Nuestra investigación documenta la arquitectura estratigráfica y el registro sedimentológico de la Formación Tena. En este trabajo a partir de la descripción de doce (12) litofacies: tres (3) conglomeráticas, cinco (5) arenosas, y cuatro (4) limo-arcillosas, se interpreta que el ambiente de depósito de la Formación Tena corresponde a entornos fluviales que muestran la transición desde planicies de ríos trezados a planicies aluviales meandri-formes.

Palabras clave: Fm Tena, Ríos trezados, Ríos meandri-formes.

Abstract

The Tiwintza to Puerto Morona road shows extensive and continuous outcrops of cretaceous sedimentary sequence. Our research documents stratigraphic architecture and sedimentary record of Tena Formation. We described twelve (12) lithofacies: three (3) conglomeratics, (5) five sandstones, and four (4) limo-clayey. Depositional environment of Tena Formation corresponds to the transition since braided plains rivers environments to meandering alluvial plains environments.

Keyword: Tena Fm. Braided plain rivers and Meandering plain aluvial.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca Oriente del Ecuador, es una cuenca de trans-arco compleja desde el punto de vista científico y atractiva debido al aporte económico generado al país, a través de la explotación petrolera.

La secuencia sedimentaria Cretácica (ssC) descansa en discordancia sobre un basamento heterogéneo y deformado. En la base de la ssC se encuentra la Formación Hollín (Aptiano - Albiano), que guarda el registro estratigráfico de la transición desde ambientes fluviales de ríos trezados de baja sinuosidad a ambientes costeros influenciados por mareas [1] ocurrida en el cretácico Superior [2]. En conformidad se deposita la Formación Napo (Albiano – Maastrichiano) que consiste en calizas, lutitas y areniscas, de ambiente marino somero [3].

El registro estratigráfico de la Formación Tena (Maastrichiano-Paleoceno), refleja el inicio de la orogenia andina [4], un cambio relevante en el relieve de la margen noroccidental sudamericana.

La Formación Tena descansa en discordancia angular sobre la Formación Napo (Albiano - Maastrichiano), en su base se observan conglomerados gruesos, lutitas y limolitas. Hacia su parte media presenta intercalaciones de limolitas rojas, lutitas laminadas y paquetes de areniscas. En su techo paquetes masivos de limolitas rojas con abundante bioturbación [3]; [5].

Autores, como: [3], [5], [6], [7], [8] y [9] asocian a la Formación Tena al continuo levantamiento y erosión de la margen continental que removió gran parte de la sección superior de la Formación Napo en el borde occidental (“wedge top”) de la actual cuenca Oriente (Levantamiento Napo, Depresión Pastaza). Dicho levantamiento y erosión generó una discordancia regional antes del depósito y sedimentación de la arenisca Basal Tena.

Según [10] y [11] la ocurrencia de este hiato sedimentario entre la Formación Napo y el Miembro Basal de la Formación Tena, hacia la zona Subandina puede ser explicada más fácilmente por una secuencia condensada en el Miembro Napo Superior, como consecuencia de un evento de ravinement, asociado al inicio de la tectónica compresiva sinsedimentaria durante el Cretácico Superior.

Esta investigación tiene por objetivo proponer un modelo de evolución geológica para la Formación Tena, en base a la identificación y caracterización de la secuencia sedimentaria estudiada en afloramientos ubicados en la carretera Tiwintza a Puerto Morona, en el Sur de la cordillera Cutucú, en la provincia de Morona Santiago, al Sur de la zona Subandina (wedge top) de la cuenca Oriente (Figura 1).

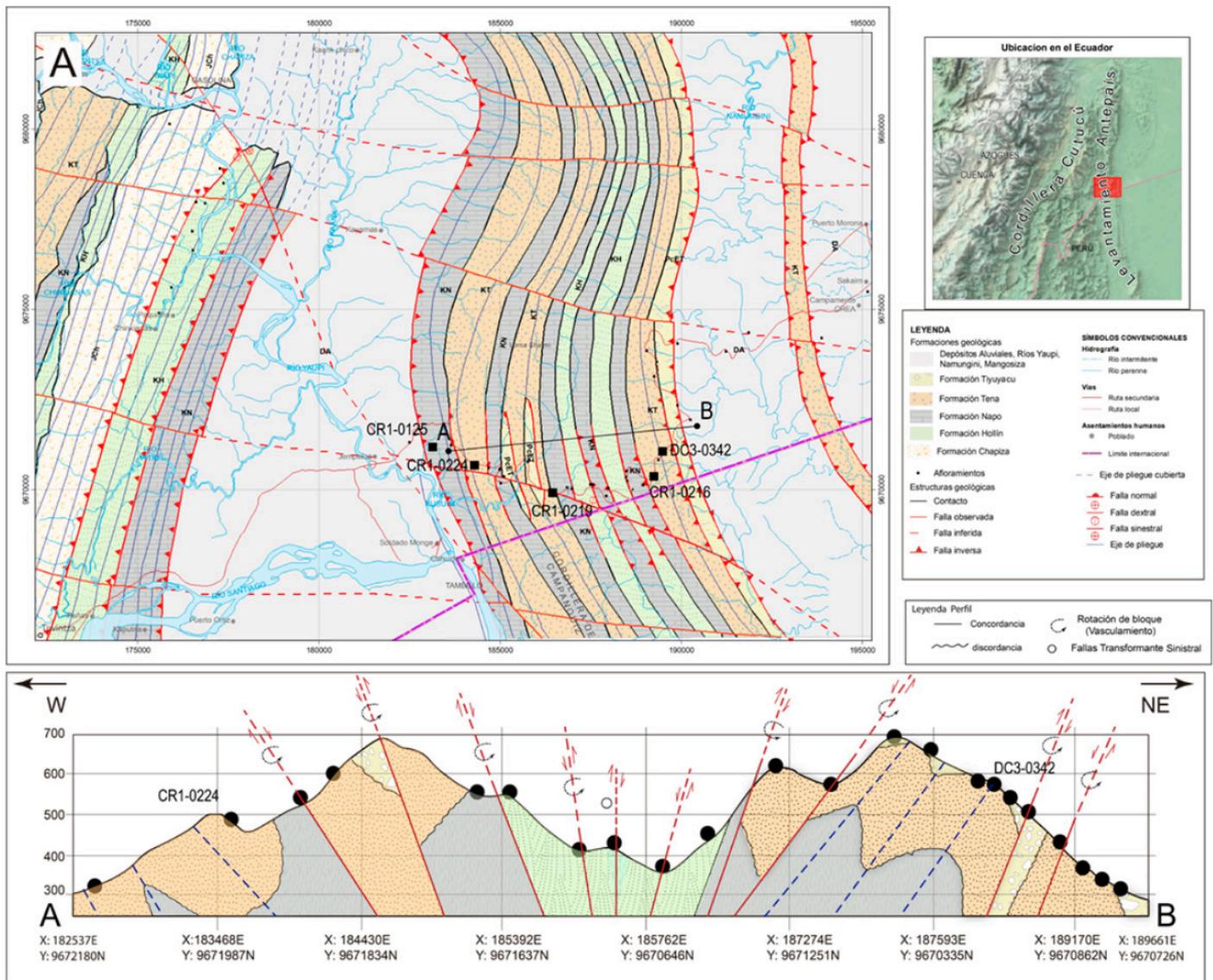


Figura 1. Mapa de Ubicación y Geología de la Zona de estudio (Carretera Tiwintza – Puerto Morona).

Figura A. Mapa Geológico Levantamiento Antepais, entre Tiwintza y Puerto Morona. Figura B. Perfil carretera entre Tiwintza y Puerto Morona. Fuente de información: Cartografía Base-Instituto Geográfico Militar –IGM, (2013). Levantamiento geológico: IIGE, 2019. Edición Cartográfica: Ing. Silvia Toinga.

2. Metodología

Nuestra investigación utiliza la identificación, descripción e interpretación de facies sedimentarias y considera el término facie definido por [12] como: “un cuerpo de roca caracterizado por una particular combinación de litologías, estructuras físicas y biológicas que le confieren un aspecto diferente a los cuerpos de rocas adyacentes”.

Este artículo se enfoca en la descripción de características de textura e identificación de estructuras sedimentarias, incluyendo análisis petrológico y granulométrico, posteriormente agrupando estos datos en la descripción de asociación de facies con el fin de comparar los resultados con los ambientes sedimentarios análogos y proponer un modelo geológico.

La asociación de facies y su nomenclatura fue realizada en función de características sedimentológicas y petrológicas siguiendo los parámetros establecidos en [12] y en [13].

Este estudio fue realizado en la carretera que conecta los poblados de Tiwintza a Puerto Morona, en donde amplias y continuas exposiciones de la Formación Tena afloran; Esto permite la caracterización completa de la secuencia sedimentaria.

Tabla 1. Afloramientos estudiados

Formación	Código	UTM-X	UTM-Y
Fm. Napo	CR1-0125	850719E	9671134N
Fm. Tena	CR1-0224	849851	9671587
Fm. Tena	DC3-00342	856008	9670137
Fm. Tena	CR1-0219	852863	9670734
Fm. Tena	CR1-0216	854987	966971

La Tabla 1 presenta las coordenadas de los afloramientos documentados, su ubicación se presenta en la Figura 1.

3. Resultados

Geodinámica del área de estudio.

La Cordillera Cutucú es una antiforma conformada de Este a Oeste, por una serie de pliegues, en cuyo núcleo aflora la Formación Santiago [4], en su flanco Este la Formación Chapiza y en el flanco Oeste la Formación Hollín. La mayoría de fallas tienen un rumbo Norte – Sur, con buzamiento hacia el Este en el flanco Oeste y hacia el Oeste en el flanco Este (Figura 1-A).

Al Este de la Cordillera Cutucú, se encuentra la zona de estudio, que corresponde al “wedge top”, y presenta una serie de afloramientos de las formaciones Napo, Tena y Tiyuyacu, en posición normal, e invertida, rotando su posición en dirección Sur-Oeste, y Nor-Este (Figura 1-B)

Litoestratigrafía Formación Napo

Al Noreste del río Yaupi (CR1-0125), se observan secuencias métricas, de 2 a 4 m, de estratos de calizas y lutitas fosilíferas, de buena continuidad lateral, con buzamiento de rumbo Sur-Este (Figura 1).

Descripción:

Está conformada por secuencias estrato decrecientes de areniscas glauconíticas, de grano fino a muy fino, bioturbadas, con fragmentos, angulares y sub-angulares de bivalvos y gasterópodos, laminación cruzada y laminación ondulítica discontinua (FN-M1), intercaladas con estratos de lutitas calcáreas con fragmentos de bivalvos y gasterópodos no identificados (FN-M2) y niveles métricos de calizas micríticas (FN-M3).

Arquitectura estratigráfica:

Las facies FN-M1 y FN-M2 se interdigitan en secuencias estratodecrecientes, presentan morfología de estratos convexos. Su espesor es métrico, de 1 a 3 m. Hacia la base se observa una superficie irregular, erosiva de cuarto (4to) orden; hacia el techo se presenta una superficie concordante con estratos mantiformes de lutitas calcáreas.

Las facie FN-M2 se presenta en estratos de morfología mantiforme, planar, tabular, continua, su espesor es métrico, de 1 a 2 m, se depositan periclinamente sobre las litofacies FN-M1 y FN-M2.

Tabla 2. Litofacies de la Formación Tena

Código de Facie	Litología	Interpretación
Gm	Conglomerado, matriz soportado, oligomíctico con clastos centimétricos, subangulares a angulares de cuarzo de veta y gránulos milimétricos, subsubangulares de lutita y calizas. Estos componentes se distribuyen caóticamente en una matriz limo arenosa, en la cual el cuarzo es el principal componente.	Asociada a flujos de escombros, de alta intensidad y viscosos a subviscosos.
Gh	Conglomerado, clasto soportado, oligomíctico con clastos centimétricos, subangulares de cuarzo de veta; clastos centimétricos, sub redondeados, de lutitas. La matriz observada en pequeñas proporciones es arena de cuarzo de grano fino a muy fino. Se observa imbricación (N85°E), sets métricos con estratificación cruzada planar y sets centimétricos a métricos con gradación normal e inversa.	Asociada al movimiento de detrito en el fondo del lecho, en específico a bedforms transversales, a partir del remanente de barras erosionadas.
Gt	Conglomerado, matriz soportado, polimíctico, con clastos centimétricos, subangulares de cuarzo policristalino y cuarzo de veta; clastos milimétricos, redondeados, metamórficos de filita y esquistos; en menor proporción gránulos subredondeados, de lutitas, y esporádicos fragmentos subangulares volcánicos de composición andesítica. Estos componentes se distribuyen con imbricación (N70°E), en una matriz arenosa – limosa, en donde el principal componente es el cuarzo. Se observan sets centimétricos a métricos con gradación normal y estratificación cruzada transversal.	Asociada a flujos de alta energía y viscosos, en desaceleración que depositan clastos y detrito en el lecho de canales.
St	Arenisca de cuarzo, gris con tonalidades rojas, de grano muy grueso a medio, pobre a moderadamente sorteada, con estratificación cruzada transversal, gradación normal, y superficies de erosión de 2do orden. Se observan esporádicos gránulos de cuarzo y fragmentos milimétricos, redondeados a subangulares de calcita y dolomita, distribuidos y alineados hacia la base de los foresets.	Asociada al movimiento de detrito en el fondo del lecho, en específico a dunas de crestas sinuosas y lingüidales (3D)
Sp	Arenisca de cuarzo, gris con tonalidades rojas y violetas, de grano medio a muy fino, moderadamente a bien sorteada, con estratificación cruzada planar, gradación normal y superficie de erosión de 2do y 1er orden. Se observan esporádicos gránulos de cuarzo lechoso, distribuidos caóticamente en la estructura.	Asociada al movimiento de detrito en el fondo del lecho, en específico a formas de lecho transversales y lingüidales (2D)
Sr	Arenisca de cuarzo, roja con tonalidades violetas, de grano medio a muy fino, bien sorteada, con ripples de corriente, estratificación cruzada, gradación normal y superficies de erosión de 2do y 1er orden.	Asociada al movimiento de detrito en el fondo del lecho, en específico a la migración de ripples en regímenes de flujo bajo
Sh	Arenisca de cuarzo, grises con tonalidades anaranjadas y violetas, de grano medio a muy fino, muy bien sorteada, con alrededor de 20% de arcilla, con laminación horizontal y superficies de erosión de 2do y 1er orden. Se observa gránulos de cuarzo y volcánicos andesíticos, alineados sobre las superficies de erosión	Asociada al movimiento de detritos, en flujos súper críticos, de alta velocidad, de desbordamiento.
Sm	Arenisca de cuarzo, roja con tonalidades anaranjadas y violetas, de grano grueso a medio, con proporciones cercanas al 10% de arcilla, con mal sorteo, masivas con superficies de erosión de 3er y 4to orden. Se observan clastos centimétricos subangulares de cuarzo, filita, lutita y volcánicos andesíticos, distribuidos de manera caótica en la estructura.	Asociada al movimiento de partículas finas en flujos de gravedad
Fl	Arenisca limosa de cuarzo, roja con tonalidades oscuras, de grano muy fino, con proporciones cercanas al 30% de limo, con laminación paralela muy fina, ripples incompletos y superficies de erosión de 2do y 3er orden. Se observa clastos de lodo y esporádicos gránulos, bien redondeados de cuarzo distribuidos de manera caótica en la estructura.	Depósitos de desborde de canal, sedimentación de partículas finas en canales abandonados.
Fsm	Lutita de color rojizo, con tonalidad violeta, masiva.	Depósitos de pantanos o canales abandonados
Fr	Lutita de color, rojizo, con tonalidad violeta y gris, con laminación paralela, grietas de desecación, y niveles ampliamente bioturbados y clastos de cuarzo distribuidos de forma caótica en la estructura.	Depósitos de desborde de canal, canales abandonados, o planicie de inundación
P	Lutitas rojizas, masivas, calizas con grietas cársticas, margas laminadas, con restos de raíces.	Regolito del lecho, formado por retrabajamiento de calizas y lutitas en clima seco.

La morfología de paquetes de caliza (FN-M3): es tabular, lateralmente continua, métrica, de 1 a 2 m.

Interpretación

Las características litológicas y la arquitectura estratigráfica observadas en FN-M1, FN-M2, FN-M3 se asocian a planicies de lodo y zonas de precipitación de calcita en ambiente de plataforma marina somera ([14]). Según [15] y [16] la presencia de barras de areniscas con glauconita nos indica la proximidad a entornos submareales, estas configuraciones fueron descritas por [3] para el Miembro Medio de la Formación Napo, al Noroeste de la zona de estudio, en la sección de Chinimbini.

Formación Tena

Al Oeste del levantamiento ante país, en el sector de Cushua, en el km 110, de la carretera que conecta las poblaciones de Tiwintza y Puerto Morona, la Formación Tena aflora en el núcleo de un sinclinal volcado hacia el Oeste. Desde el km 112 al km 114, un bloque de las formaciones Napo, Tena y Tiyuyacu, bascula su posición hacia el Noroeste, sobre su eje inclinado al Norte.

Desde el km 115 al km 117, un bloque con afloramientos de las formaciones Napo y Tena, bascula su posición hacia el Sur-Este, sobre su eje inclinado hacia el Norte, los estratos del bloque se observan verticales (Figura 1).

En la Tabla 2, se presenta la caracterización de litofacies observada en la Formación Tena; en la Figura 2, se detallan las columnas estratigráficas de la Formación Tena, al Sur-Oeste, en las proximidades a Tiwintza (Figura 2-A), como al Noreste en las proximidades a Puerto Morona (Figura 2-B).

Miembro Basal

Descripción

El Miembro Basal de la Formación Tena, se deposita en discordancia angular sobre la Formación Napo; corresponde a secuencias conglomeráticas, estratodecrecientes, con intercalaciones métricas de litofacies **Gm**, **Gh**, **Gt**, **St**, **P**, **Fl** y **Fr** (Tabla 2; Figuras 3-A, C; 4-A).

También se observan niveles de arcillolitas rojas y moradas, con cementación calcárea, cortadas por raíces carbón y ámbar), de geometría lenticular a recta y calizas con grietas asimétricas, irregulares y centimétricas, rellenas por material detrítico: gránulos de cuarzo y arena limosa.

Dentro de la litofacie **Gm**, se observan fragmentos subangulares a angulares, de baja esfericidad, milimétricos, de 5 a 8 mm, de caliza y lutita distribuidos caóticamente.

Arquitectura estratigráfica

En afloramiento se observa que las litofacies **Gm**, **Gh**, **Gt**, **St**, están organizadas en amalgamaciones laterales y continuas de barras de grava, dentro de canales de amplitud y espesor métrico, el máximo espesor observado es 3 m y la mínima amplitud es 2 m (Figura 4-A).

El espesor promedio de las barras se aproxima a 1 [m], su morfología es convexa, con tendencias grano decrecientes, y están limitadas tanto en la base, como en el techo, por superficies de erosión de cuarto (4to) orden. Hacia el techo de los canales, las barras están cubiertas por capas métricas, de 1 a 1,5 m de lutitas y limolita de color rojo.

Los canales tienen morfología cóncava, con buena continuidad lateral, una amplitud media de 5 m, mientras que la altura promedio es de 1 m, se distribuyen dentro de planicies de lodo (Figura 4-A).

Las planicies de lodo mantienen un espesor métrico de 2 a 4 m, su morfología es planar, mantiforme, lateralmente continua (Figura 4-B).

Interpretación

En función de la litología y arquitectura observada, se identifican tres elementos morfológicos de primer orden: (1) canales rellenos con (2) amalgamaciones laterales de barras y (3) planicies de inundación. [17] afirma que estos elementos morfológicos son característicos de sistemas fluviales trenzados.

El tamaño de grano (gravas a arenas muy gruesas) de las litofacies **Gm**, **Gh**, **Gt**, indica que este Miembro se depositó en un sistema fluvial de alta energía y alto aporte detrítico ([18]; [19]).

La continuidad lateral de depósitos de canales, junto a la ausencia de extensas planicies de inundación indica baja sinuosidad [20].

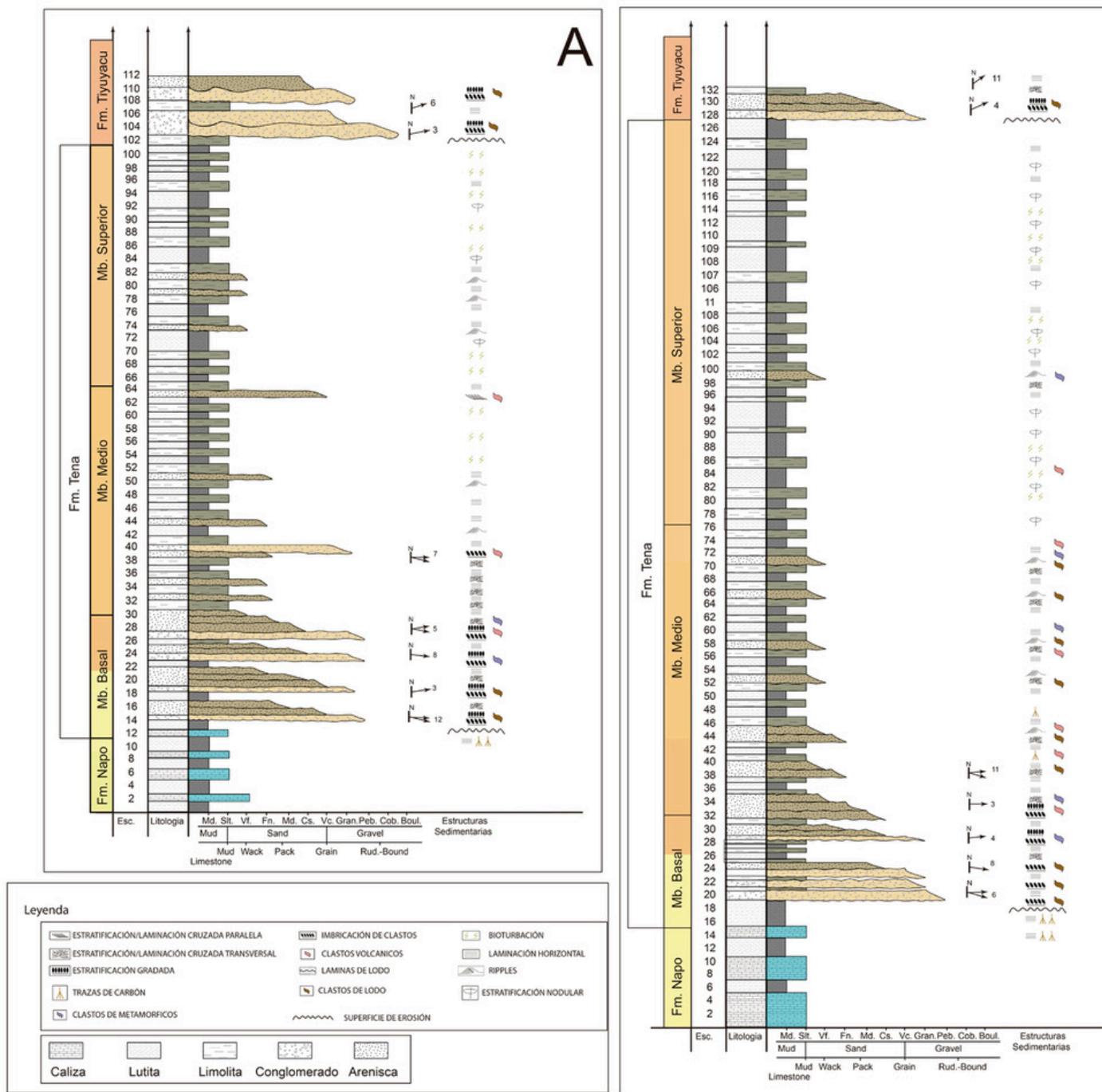


Figura 2. Columna Estratigráfica.

Figura A Columna estratigráfica de la secuencia Napo-Tena-Tiyuyacu en Tiwintza (CR1-0224: 849851E; 9671676N).

Figura B. Columna estratigráfica de la secuencia Napo-Tena-Tiyuyacu en Puerto Morona (DC3-00342: 856008E; 9670014N).

En función de estas observaciones se define que el Miembro Basal de la Formación Tena, corresponde a un sistema fluvial de alta energía y baja sinuosidad, proximal a la fuente de detrito, en las cuales, flujos de escombros y formas de lecho (bedforms) dominaron la sedimentación ([21]; [22]; [23]).

Niveles de arcillolitas rojas y moradas, con cementación calcárea, amonites, *Inoceramus anglicus*, así como frag-

mentos de fósiles no identificados, y restos de raíces junto a calizas con fracturas rellenas por detritos arenosos, indican meteorización física y química de la roca ([24]; [25]).

Por lo cual, se afirma que, hacia la base del Miembro Basal de la Formación Tena, gran parte de las capas rojas (red beds), corresponden al regolito de la Formación Napo.

Miembro Medio

Descripción

Entre el Miembro Basal de la Formación Tena y el Miembro Medio, se observa una conformidad (Figura 4-B).

Este Miembro corresponde a secuencias estrato decrecientes, métricas, de 3 a 5 m de **Gt, St, Sp y Sr**, (Figura 3-B, D), en intercalación con estratos continuos, métricos de 1 a 2 m de Sm, Fl y Fr. También se observan aislados niveles de Gh y Gt, distribuidas junto a amplios y continuos estratos de Fl y Fsm.

Arquitectura estratigráfica

Litofacies **Gt, St, Sp y Sr**, se distribuyen en canales, de morfología cóncava, abierta hacia arriba, en la cual, se observa discontinuidad lateral de barras fluviales. El espesor de estos depósitos alcanza 2 m y representan canales principales.

Mientras que litofacies Sm, Fl, y Fr presentan morfología mantiforme, con una superficie irregular, de 5to orden, concordante en la base y hacia el techo una superficie planar, continua, su espesor alcanza 3 m, éstas corresponden a planicies de inundación arenosas (Figura 4-B,C).

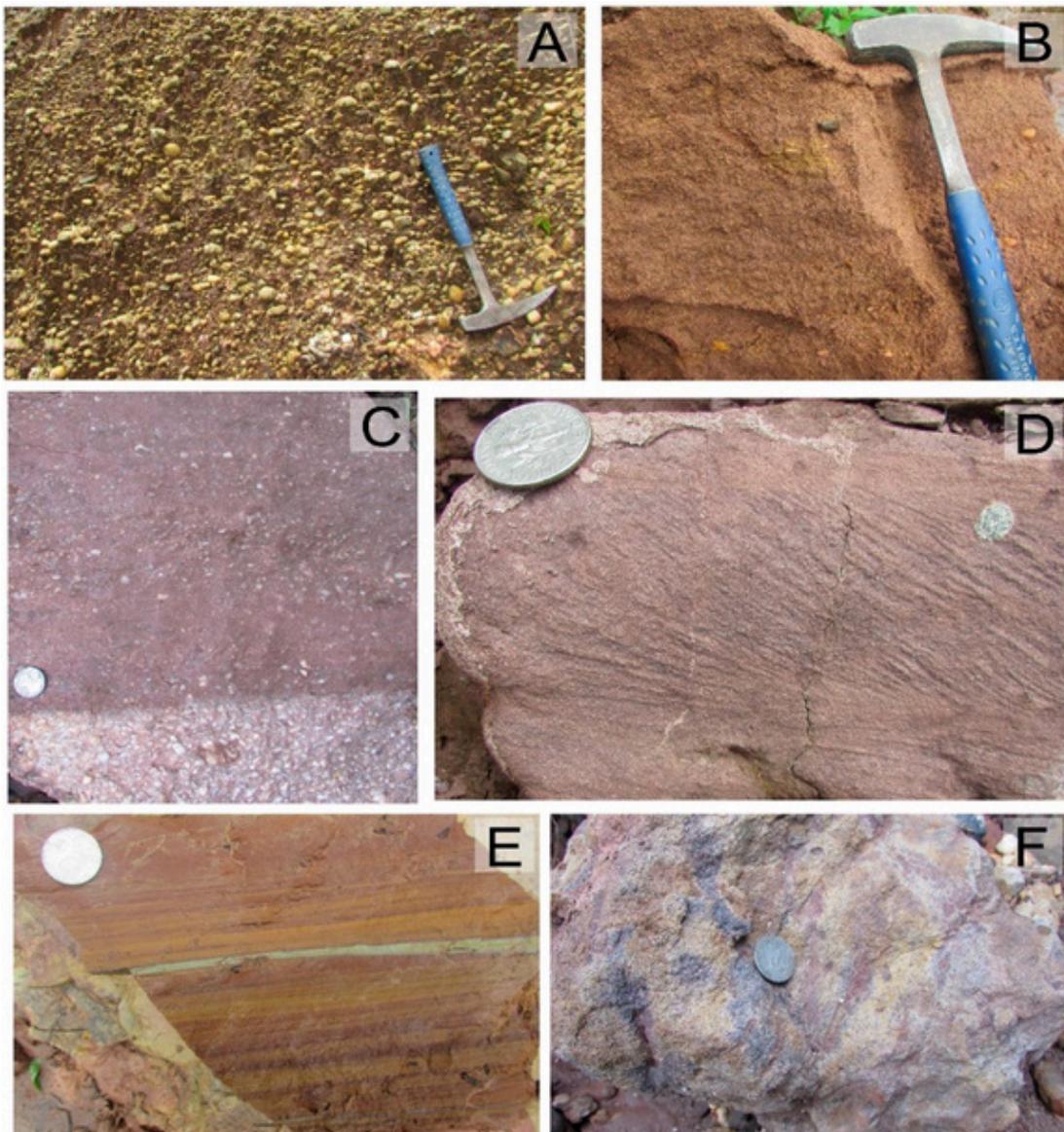


Figura 3. Litofacies de la Formación Tena.

Figura A. Litofacie Gh: se observa un conglomerado granular, oligomórfico matriz soportada. Figura B. Litofacie Gm: conglomerado Oligomórfico. Figura C. Litofacies Gt-St:hacia la base se observa un conglomerado polimórfico con imbricación, hacia el tope se observa arenisca con gradación normal . Figura D. Litofacies Sr-.Sp: se observa litoarenisca con estratificación cruzada transversal y ripples de corriente unidireccional Figura E. Litofacies Sh-Fl: se observa intercalaciones de arenisca limosa y areniscas con laminación paralela. Figura F.Litofacie Fr: lutitas rojas con bioturbación tipo skolito.

Las litofacies Fl y Fsm, presentan morfología tabular, con buena continuidad lateral, su espesor se aproxima a 1 m, se asocian a delgadas planicies de inundación y canales secundarios abandonados.

Las litofacies Gh y Gt, mantienen tendencias grano decrecientes, están organizadas en cosets, centimétricos, de 50 a 70 cm, y representan canales secundarios abandonados.

Interpretación

Las características litológicas, la arquitectura estratigráfica y elementos arquitectónicos observados, en el registro estratigráfico del Miembro Medio de la Formación Tena, como son las: macroformas de acreción lateral limitadas por depósitos de planicie de inundación, canales secundarios, barras de arena aisladas, point bar y canales abortados según [21] corresponden a sistemas fluviales meandriformes.

En función del tamaño de grano observado (arenisca de grano

medio a grueso) y las tendencias estrato decreciente y grano decrecientes en los cuerpos de arenisca documentada, se define un sistema fluvial de baja energía, y bajas proporciones de detrito [26].

Por lo anterior, el registro estratigráfico y sedimentológico definido en el Miembro Medio de la Formación Tena muestra la presencia de ríos meandriformes. Una descripción detallada de la transición de ríos trenzados a ríos meandriformes es presentada en [27] y [28].

Miembro Superior

Descripción

El contacto entre el Miembro Medio y el Miembro Superior de la Formación Tena, es transicional. En las facies de limonitas arenosas del Miembro superior la proporción de arena disminuye y su espesor aumenta con respecto a las observadas en el tope del Miembro Medio (Figura 4-D).

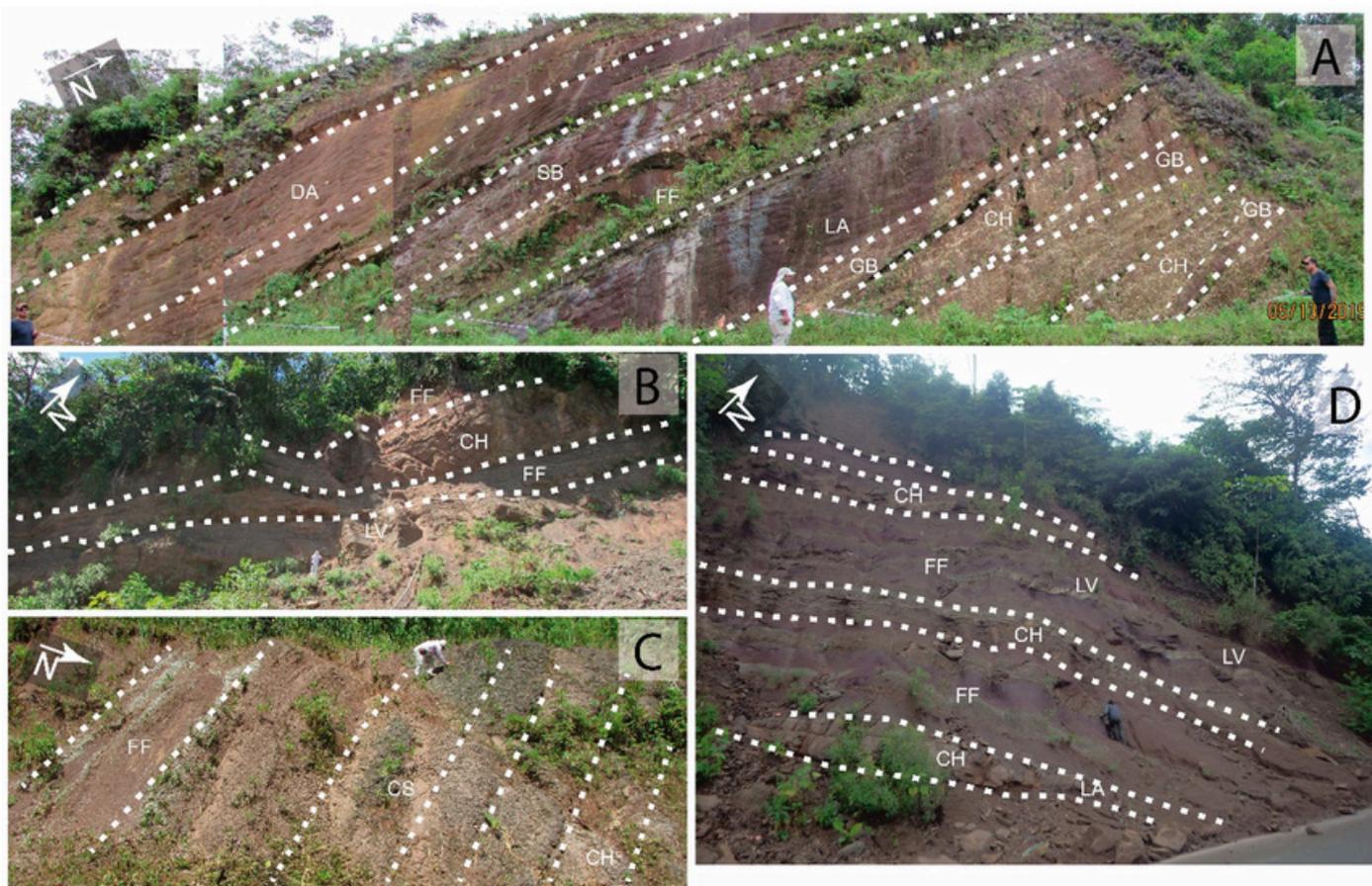


Figura 4. Arquitectura Estratigráfica

Figura A Afloramiento del Miembro Basal de la Fm. Tena en Tiwintza (CR1-00224: 849851E; 9671676N). Figura B. Afloramiento del Miembro Medio y Miembro Superior de la Fm. Tena en Puerto Morona (DC3-00342: 856008E; 9670137N). Figura C. Afloramiento del Miembro Medio de la Formación Tena (CR1-0219: 852863E; 9670734N) Figura D. Afloramiento del Miembro Superior de la Fm. Tena (CR1-0216: 854987E; 9669717N). Elementos arquitectónicos observados DA: Depósitos de Acreción, SB: Barra de arena FF: Planicie de inundación GB: Barras de grava; CH: canal.

El Miembro Superior de la Formación Tena presenta depósitos canalizados principalmente decimétricos de tendencia estrato decreciente compuestos por St, Sh y Sm, que se distribuyen intercalados con estratos métricos de Fr y P (Tabla 2, Figura 3-E). De la misma forma, se desarrollan litofacies Fsm, Fr y P, distribuidas en estratos métricos, con intensa bioturbación (Tabla 2, Figura 3-F).

Arquitectura estratigráfica

Las litofacies Fsm, Fr y P se presentan en estratos mantiformes a tabulares, con buena continuidad lateral, de tendencia grano decreciente y espesor de 1 a 3 m. Sobreyaciendo a estos depósitos, se desarrollan canales, cóncavos continuos y discontinuos, estructurados por St, Sh y Sm. En la base de estos depósitos se presentan superficies de erosión de cuarto (4to) orden. Hacia el techo de estos estratos hay una transición a estratos de morfología lobular de Fr y P, con espesores entre 50 y 80 cm (Figura 4-D).

Interpretación

En función de la litología, arquitectura estratigráfica, y registro sedimentológico observado, como son: depósitos de planicie de inundación, amalgamación lateral de barras de arena, barras de arena aisladas, canales secundarios aislados, rellenos con arena fina, acorde a [17], se define que estas macroformas corresponden a ríos de alta sinuosidad.

Considerando el tamaño de grano (arenisca de grano fino a medio), junto a la tendencia estrato y grano decreciente documentada, se interpreta que los depósitos del Miembro Superior de la Formación Tena corresponden a sistemas fluviales de baja energía, con bajas proporciones de detrito [29]. Según [30], estas características son descritas en abanicos aluviales de ríos anastomosados.

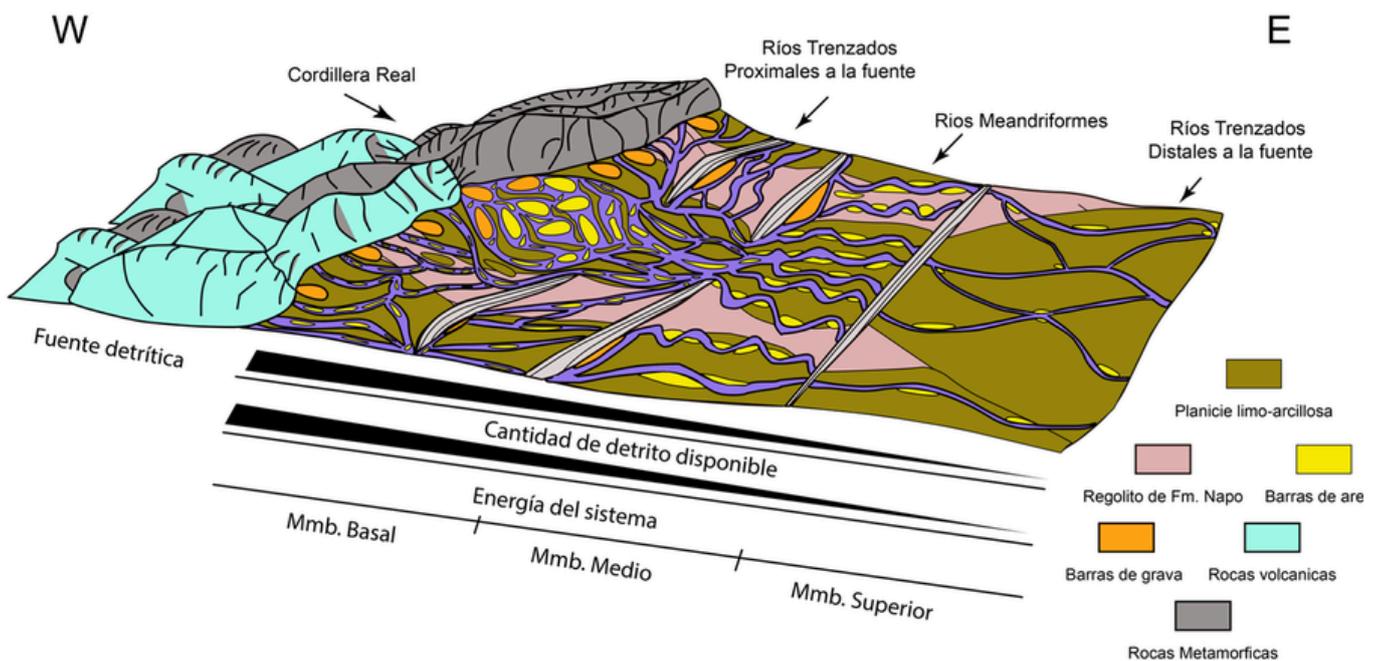


Figura 5. Reconstrucción de Paleo ambiente de la Formación Tena.

4. Conclusiones

En la carretera Tiwintza a Puerto Morona, la Formación Tena descansa en discordancia angular sobre depósitos marinos del Miembro Medio de la Formación Napo.

En el área de estudio, se propone la división de la Fm. Tena en tres miembros:

Un Miembro Basal cuyo espesor alcanza aproximadamente 15 m, compuesto a la base por una planicie de inundación lodosa (F1, Fr y P), la cual en gran parte corresponde al regolito de la Formación Napo, sobre la que se desarrollan litofacies conglomeráticas (Gm, Gh, Gt, St), asociadas a una migración longitudinal de barras de grava, flujos de escombros, migración transversal de barras de arena caracterizando de esta manera a sistemas fluviales de ríos trenzados de baja sinuosidad (Figura 5).

Un Miembro Medio de espesor aproximado 30 m, compuesto de facies conglomeráticas (Gh, Gt), y arenosas (St, Sp, Sr), que representan macroformas de point bar, sobre una planicie aluvial lodosa expresada por Fl y Fsm. Se ha documentado también depósitos de desborde, caracterizando a sistemas fluviales meandriformes (Figura 5).

Un Miembro Superior de espesor medio de 40 m, compuesto de facies arenosas (Sh, Sm) y esporádicamente conglomeráticas (Gt), organizadas en depósitos de barras en canales secundarios, dunas arenosas y flujos erosivos. La presencia de facies lodosas bioturbadas (Fl y Fsm), indican la presencia de un lecho bien oxigenado (Figura 5), corresponde a abanicos aluviales anastomosados.

En conclusión, nuestra investigación reconstruye el registro paleoambiental de la Formación Tena proponiendo un sistema fluvial en el que se observa la transición desde planicies fluviales de ríos trenzados a planicies aluviales de ríos meandriformes, en función de las observaciones estratigráficas y sedimentológicas documentadas.

Esta transición según [31] y [32], ocurre cuando el aporte detrítico se atenúa, ya sea debido a la tectónica local o por efectos climáticos (Figura 5).

5. Agradecimientos.

El presente estudio fue realizado en campañas de levantamiento geológico del “Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias de Recursos Minerales en el Territorio Ecuatoriano”, desarrollado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), en el año 2019.

6. Referencias Bibliográficas

[1] Romero Córdor, C. W. Identificación y Caracterización de Facies de la Formación Hollín en Centro Shaima: El Registro de una Transición Fluvio-Marina en la Región Sur Oriental del Ecuador (Bachelor’s thesis, Quito. 2018. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19278>

[2] Bulot, L. G., Kennedy, W. J., Jaillard, E., y Robert, E. Late Middle–early Late Albian ammonites from Ecuador. *Cretaceous Research*, vol. 26. ed. 3. pp. 450-459. 2005.

[3] E. Jaillard, M Caron, A. Dhondt, M. Ordoñez, R. Andrade, P. Bengtson, y J. Huacho. “Síntesis estratigráfica y sedimentológica del Cretáceo y Paleógeno de la cuenca Oriental del Ecuador”. Orstom-Petroproduccion Publication, Quito-Ecuador. 1997. <https://core.ac.uk/download/pdf/39851082.pdf>

[4] F. Christophoul, J. D. Burgos, P. Baby, J. Soula, S. Bes de Berc, C. Dávila y M. Rivadeneira. “Dinámica de la Cuenca de ante-país Oriente desde el Paleógeno”. 2014. En. P. B. Baby, & R. M. Rivadeneira: La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo. IRD, Petroamazonas e IFEA, Quito-Ecuador, pp. 415. 2014

[5] M. F. Dashwood, & I. L. Abbotts, “Aspects of the petroleum geology of the Oriente Basin, Ecuador”. *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 50(1), pp. 89-117. 1990. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1990.050.01.06>

[6] H. J. Tschopp. “Oil explorations in the Oriente of Ecuador”, 1938-1950. *AAPG Bulletin*, vol. 37(10), pp. 2303-2347. 1953. <http://archives.datapages.com/data/bulletns/1953-56/data/pg/0037/0010/2300/2303.htm>

[7] B. Faucher & E. Savoyat (1973). “Esquisse géologique des Andes de l’Equateur. *Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique*”, vol. 15(1–2), pp. 115-142.

[8] J. W. Baldock. “Geology of Ecuador: explanatory bulletin of the national geological map of the Republic of Ecuador; 1: 1,000, 00 scale 1982”. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas. 1982.

[9] E. G. Gutiérrez, B. K. Horton, C. Vallejo, L. J. Jackson, & S. W. George. “Provenance and geochronological insights into Late Cretaceous-Cenozoic foreland basin development in the Subandean Zone and Oriente Basin of Ecuador”. In *Andean Tectonics*. pp. 237-268. Elsevier. 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00011-3>

[10] P. Baby, M. Rivadeneira, F. Christophoul, & Barragan, R. “Style and timing of deformation in the Oriente Basin of Ecuador”. In *Fourth International Symposium on Andean Geodynamics*, University of Goettingen, Germany, Extended Abstracts Volume. pp. 68-72. 199). <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010022653>

[9] [11] R. Barragan, F. Christophoul, H. White, P. Baby, M. Rivadeneira, F. Ramirez, & J. Rodas. “Estratigrafía secuencial del Cretácico de la Cuenca Oriente del Ecuador”. En P. B. Baby, & R. M. Rivadeneira (2014): “La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo”. IRD, Petroamazonas e IFEA, Quito, 415p. 2014.

[12] R. G. Walker. “Facies modeling and sequence stratigraphy: perspective”. *Journal of Sedimentary Research*. vol. 60(5). En H. W. Posamentier & R. G. Walker. (Eds.). 1992. “Facies models revisited”. 199). <http://archives.datapages.com/data/sepm/journals/v59-62/data/060/060005/0777.htm>

A. D. Miall. “Reconstructing the architecture and sequence stratigraphy of the preserved fluvial record as a tool for reservoir development: A reality check”. *AAPG bulletin*, vol. 90(7), pp. 989-1002. 2006. <https://doi.org/10.1306/02220605065>

- [14] M. Aurell, & B. Bádenas. "Análisis comparado de secuencias de alta frecuencia en plataformas carbonatadas con subsidencia diferencial (Sinemuriense, Cordillera Ibérica)". *Revista de la Sociedad Geológica de España*, vol. 28(1), pp. 77-90. 2015. [http://www.sociedadgeologica.es/archivos/REV/28\(1\)/art05_2801.pdf](http://www.sociedadgeologica.es/archivos/REV/28(1)/art05_2801.pdf)
- [15] Z. K. Jin, S. Liang, B. S. Gao, K. H. Yu, & A. S. Sinica. "Carbonate facies and facies models". *Acta Sedimentológica Sinica*, vol. 31, pp. 965-979. 2016.
- [16] J. Michel, M. Laugié, A. Pohl, C. Lanteaume, J. P. Masse, Y. Donnadieu & J. Borgomano. "Marine carbonate factories: a global model of carbonate platform distribution". *International Journal of Earth Sciences*, pp. 1-20. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00531-019-01742-6>
- [17] A. D. Miall. "Reconstructing the architecture and sequence stratigraphy of the preserved fluvial record as a tool for reservoir development: A reality check". *AAPG bulletin*, vol. 90(7), pp. 989-1002. 2006. <https://doi.org/10.1306/02220605065>
- [18] J. Lewin, M. G. Macklin & E. Johnstone. "Interpreting alluvial archives: sedimentological factors in the British Holocene fluvial record". *Quaternary Science Reviews*, vol. 24(16-17), pp. 1873-1889. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.01.009>
- [19] L. Colombera, N. P. Mountney & W. D. McCaffrey. "A quantitative approach to fluvial facies models: methods and example results". *Sedimentology*, vol. 60(6), pp. 1526-1558. 2013. <https://doi.org/10.1111/sed.12050>
- [20] M. R. Gibling. "Width and thickness of fluvial channel bodies and valley fills in the geological record: a literature compilation and classification". *Journal of sedimentary Research*, vol. 76(5), pp. 731-770. 2006. <https://doi.org/10.2110/jsr.2006.060>
- [21] J. S. Bridge & I. A. Lunt. "Depositional models of braided rivers". *Braided rivers: Process, deposits, ecology and management*, vol. 36, pp. 11 - 50. 2006. <https://doi.org/10.1002/9781444304374.ch2>
- [22] G. J. Nichols & J. A. Fisher. "Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits". *Sedimentary geology*, 195(1-2), 75-90. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2006.07.004>
- [23] T. Gardner, P. Ashmore & P. Leduc. "Morpho-sedimentary characteristics of proximal gravel braided river deposits in a Froude-scaled physical model". *Sedimentology*, vol. 65(3), pp. 877-896. 2011. <https://doi.org/10.1111/sed.12409>
- [24] R. A. Eggleton. "The regolith glossary. Cooperative Centre for Landscape Evolution and Mineral Exploration", National Capital Printing: Canberra. 2001.
- [25] G. Taylor & R. A. Eggleton. "Regolith geology and geomorphology". John Wiley & Sons. 2001.
- [26] A. D. Miall. "Architecture and sequence stratigraphy of Pleistocene fluvial systems in the Malay Basin, based on seismic time-slice analysis". *AAPG bulletin*, vol. 86(7), pp. 1201-1216. 2002. <https://doi.org/10.1306/61EEDC56-173E-11D7-8645000102C1865D>
- [27] A. Moscariello. "Alluvial fans and fluvial fans at the margins of continental sedimentary basins: geomorphic and sedimentological distinction for geo-energy exploration and development". *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 440(1), pp. 215-243. 2018. <https://doi.org/10.1144/SP440.11>
- [28] M. Ghinassi, L. Colombera, N. P. Mountney & A. J. H. Reesink. "Sedimentology of meandering river deposits: advances and challenges. Fluvial Meanders and Their Sedimentary Products in the Rock Record" (IAS SP 48), vol. 48, pp. 1-14. 2019.
- [26] [29] Parker, G., Paola, C., Whipple, K. X., & Mohrig, D. "Alluvial fans formed by channelized fluvial and sheet flow. I: Theory". *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 124(10), pp. 985-995. 1998
- [30] T. C. Blair & J. G. McPherson. "Processes and forms of alluvial fans. In *Geomorphology of desert environments*". (pp. 413-467). Springer, Dordrecht. 2009. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9_14
- [31] G. S. Weissmann, A. J. Hartley, G. J. Nichols, L. A. Scuderi, M. Olson, H. Buehler, & R. Banteah. "Fluvial form in modern continental sedimentary basins: distributive fluvial systems". *Geology*, 38(1), 39-42. (2010). <https://doi.org/10.1130/G30242.1>
- [32] R. V. Ingersoll. "Tectonics of sedimentary basins, with revised nomenclature". *Tectonics of sedimentary basins: Recent advances*, 1-43. 2011. <https://doi.org/10.1002/9781444347166.ch1>
- [30] S. Fu, Z. Liu, Y.-Z. Li, Y.-R. Guo, X.-M. Xu, J.-J. Liu & X. D. Hu. "Sequence subdivision and development characteristics of low-accommodation non-marine basins: a case study of the Yanchang Formation in the Ordos Basin". *An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia. Australian Journal of Earth Sciences*. Pp. 1-27. 2018. <https://doi.org/10.1080/08120099.2018.1480114>