

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DEL NORTE DE LA
CUENCA MALACATOS – VILCABAMBA (MIOCENO,
PROVINCIA DE LOJA – SUR DE ECUADOR).**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

BYRON ERNESTO SOLÍS ALULIMA

besolisa@hotmail.com

DIRECTOR: Dr. DIEGO CORROCHANO FERNÁNDEZ PhD.

dcf@usal.es

CO-DIRECTOR: Dr. PEDRO REYES PhD.

pedro.reyes@epn.edu.ec

Quito, julio 2015

DECLARACIÓN

Yo, Byron Ernesto Solís Alulima, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Byron Ernesto Solís Alulima

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Byron Ernesto Solís Alulima, bajo mi supervisión.

Dr. Diego Corrochano Fernández
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica Nacional por la formación profesional, personal y humana recibida en sus aulas.

Al Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico por el tiempo y las facilidades prestadas para poder llevar adelante el presente proyecto y a cada una de las personas que colaboraron con este trabajo para que sea ejecutado.

A cada uno de mis profesores en la carrera de Geología, de quienes he recibido lecciones profesionales y de vida. Por nombrar algunos valiosos ejemplos la Ing. Halina Lachowicz, una gran mujer y maestra; el Ing. Bernardo Beate, gran persona y técnico y al Dr. Arturo Éguez gran profesional y maestro, a quienes agradezco sus conocimientos, interés, ética y sobretodo entereza.

A los maestros a lo largo de mi vida estudiantil, y sobre todo a quienes se volvieron grandes amigos con el transcurso de los años Mat. Manuel Cadena, Dr. Luis Lascano y Lic. Gustavo Velasco.

A mis amigos y compañeros de carrera con quienes se han compartido vivencias, tiempo, alegrías y frustraciones Beto M, Lucho L, Edgar C, Carlos D, Fabián O, Pedro E y Marco A.

A quienes con su amistad indirectamente han colaborado Josué V, Mauro G, Carlos A, Jorge G y Michael G.

Una mención especial para el Dr. Diego Corrochano, Director del presente proyecto, un profesional a carta cabal, una persona en toda la extensión de la palabra y un excelente amigo, quien me permitió visualizar una perspectiva diferente de trabajo y compromiso.

No deseo terminar estos agradecimientos sin antes agradecer también al Dr. Pedro Reyes, Co-Director de este proyecto, por su ayuda, consejos, conocimientos y amistad, que han sido en extremo valiosos para la ejecución de este trabajo.

DEDICATORIA

Este trabajo y cada una de mis acciones y logros van dedicados al ser supremo que crea y rige lo que existe y debe ser; a mi padre, Carlos, por su ejemplo de vida y trabajo; a mi madre, Flor, por su fortaleza y dedicación; a mis hermanos, Darío y Carlos, por su alegría y compañía y a Chester.

La dedicatoria final pero no menos importante se la hago a mi amada esposa, Cristina, por ser la compañera, amiga y cómplice en cada reto, objetivo y acción de vida.

Las circunstancias no hacen al hombre, solo lo revelan.

James Allen

RESUMEN

Los estudios en las cuencas intramontañas en el Ecuador, han tenido entre sus objetivos el estudio de las secuencias sedimentarias, el origen de los sedimentos, la evolución tectónica y la búsqueda de recursos minerales no metálicos para la explotación económica.

El presente trabajo se enfoca en el estudio de la estratigrafía y sedimentología del norte de la cuenca Malacatos – Vilcabamba, siendo el objetivo principal definir las relaciones estratigráficas y la evolución tectonosedimentaria entre los bloques nororiental “La Granja” y noroccidental.

El relleno sedimentario neógeno de la cuenca, de base a techo, está constituido por las formaciones San José, Santo Domingo, San Francisco y Cerro Mandango. La relación estratigráfica ha sido reconsiderada a través de observaciones realizadas en campo y criterios sedimentológicos.

Respecto a la evolución sedimentaria, se determinó que esta involucró dos sistemas de depósito, afectados por transgresiones y regresiones marinas, que se desarrollaron en un ambiente de margen costero. Las formaciones San José y San Francisco se depositaron en un sistema deltáico con bahías interdistributarias e influencia mareal, mientras la Formación Santo Domingo en un sistema de planicie de marea.

Estructuralmente la cuenca presenta límites tectónicos y fallas intracuenca. Se establecieron los límites y la relación tectónica entre los bloques noroccidental y nororiental “La Granja”. Además, se estudió la Falla Picota y su relación con el bloque nororiental “La Granja”. Finalmente, se reconocieron episodios de deformación sinsedimentaria, el basculamiento regional de la cuenca hacia el Este, observado en el bloque noroccidental, y el basculamiento del bloque nororiental “La Granja” hacia el Noreste.

ABSTRACT

Intramontane basin studies in Ecuador, whose goals include the study of sedimentary sequences, the origin of the sediments, the tectonic evolution and the research for nonmetallic mineral resources for the economic exploitation.

This work focuses in the study of the sedimentology and stratigraphy in the northern Malacatos - Vilcabamba basin, the main objective is to define the stratigraphic relationships and tectono-sedimentary evolution between "La Granja" northeastern and northwest blocks.

The Neogene sedimentary basin fill, from base to top, is formed by San José, Santo Domingo, San Francisco and Cerro Mandango formations. The stratigraphic relationship has been reconsidered through field observations and sedimentological criteria.

Respect to the sedimentary evolution, it was determined two deposit systems affected by marine transgressions and regressions, which were developed in an environment of coastal margin. San Jose and San Francisco formations were deposited in a deltaic system with interdistributary bays and tidal influence, while the Santo Domingo Formation was deposited in tidal flat system.

Structurally the basin has tectonic limits and intrabasin faults. Limits and tectonic relationship between northwest and northeast blocks "La Granja" were established. Furthermore, Picota fault and its relationship to the northeastern block "La Granja" was studied. Finally, synsedimentary episodes of deformation, the regional tilting of the basin to the east, observed in the northwestern block and the tilting of the northeastern block "La Granja" to the northeast were recognized.

ÍNDICE

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XI
CAPÍTULO 1.	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ALCANCE.....	2
1.4 METODOLOGÍA.....	3
1.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA	4
1.5.1 UBICACIÓN Y ACCESO.....	4
1.5.2 MORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA	5
1.5.3 CLIMA	6
1.5.4 FLORA Y FAUNA.....	6
1.5.5 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS	7
1.6 SÍNTESIS DE TRABAJOS ANTERIORES	8
CAPÍTULO 2.	11
2.1 MARCO GEODINÁMICO.....	11
2.2 GEOLOGÍA REGIONAL	12
2.2.1. DEFORMACIÓN MESO – CENOZOICA.....	14
2.2.2. DEFORMACIÓN CUATERNARIA.....	15
2.2.2.1 Fallas N – S	16
2.2.2.2 Fallas NW – SE	16
CAPÍTULO 3.	17

3.1 ESTRATIGRAFÍA	17
3.1.1 BASAMENTO.....	17
3.1.1.1 Unidad Chigüinda	17
3.1.1.2 Unidad Tres Lagunas	19
3.1.1.3 Unidad Loma Blanca	21
3.1.1.4 Formación Quinara	24
3.1.2 LITOESTRATIGRAFÍA DEL NEÓGENO.....	26
3.1.2.1 Formación San José.....	26
3.1.2.2 Formación Santo Domingo	30
3.1.2.3 Formación San Francisco	35
3.1.2.4 Formación Cerro Mandango	41
3.1.3 VOLCANISMO	42
3.1.3.1 Unidad Huayco	42
3.2 SEDIMENTOLOGÍA.....	44
3.2.1 FORMACIÓN SAN JOSÉ.....	51
3.2.2 FORMACIÓN SANTO DOMINGO.....	55
3.2.3 FORMACIÓN SAN FRANCISCO	58
3.2.4 FORMACIÓN CERRO MANDANGO	60
CAPÍTULO 4	61
4.1 DOMINIOS MORFOESTRUCTURALES	61
4.1.1. DEFINICIONES.....	61
4.1.2. CARACTERIZACIÓN MORFOESTRUCTURAL	63
4.2 ESTRUCTURAS REGIONALES.....	66
4.2.1 FALLAS DE LÍMITE DE CUENCA	66
4.2.2 FALLAS DE SEGMENTACIÓN INTRACUENCA	68
4.3 BLOQUES INTRACUENCA.....	68
4.2.1 ESTRUCTURACIÓN DE LOS BLOQUES	69
4.2.2 BASCULAMIENTO DE LOS BLOQUES	72
CAPÍTULO 5	74
5.1 SÍNTESIS SEDIMENTARIA.....	74
5.2 MODELO DE EVOLUCIÓN	80
5.3 DISCUSIÓN.....	83
CAPÍTULO 6	86

BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación de la zona de estudio	4
Figura 1.2 Panorámica del nororiente de la cuenca de Malacatos – Vilcabamba. .	5
Figura 2.1 Subdivisión morfotectónica simplificada del Ecuador.....	11
Figura 2.2 Mapa geológico simplificado del sur Ecuador con la localización de las series sedimentarias del Mioceno	12
Figura 2.3 Esquema de la Cordillera Real.....	13
Figura 2.4 Mapa de Fallas Cuaternarias de la zona de estudio.	15
Figura 3.1 Unidad Chigüinda.....	17
Figura 3.2 Lámina delgada, Unidad Chigüinda	18
Figura 3.3 Unidad Tres Lagunas	19
Figura 3.4 Lámina delgada, Unidad Tres Lagunas.....	20
Figura 3.5 Formación Loma Blanca	21
Figura 3.6 Láminas delgadas, Formación Loma Blanca	22
Figura 3.7 Formación Quinara.....	24
Figura 3.8 Láminas delgadas, Formación Quinara.....	25
Figura 3.9 Formación San José	27
Figura 3.10 Láminas delgadas, Formación San José / Bloque noroccidental	28
Figura 3.11 Láminas delgadas, Formación San José / Bloque nororiental	29
Figura 3.12 Formación Santo Domingo.....	31
Figura 3.13 Miembro Yeso – Formación Santo Domingo.....	32
Figura 3.14 Láminas delgadas, Formación Santo Domingo / Bloque noroccidental	32
Figura 3.15 Formación San Francisco	36
Figura 3.16 Láminas delgadas, Formación San Francisco / Bloque noroccidental.	37
Figura 3.17 Láminas delgadas, Formación San Francisco / Bloque nororiental ..	39
Figura 3.18 Formación Cerro Mandango	41
Figura 3.19 Unidad Huayco.....	43
Figura 3.20 Lámina delgada. Unidad Huayco.	43

Figura 3.21 Esquema básico de un sistema deltáico.	48
Figura 3.22 Clasificación por tamaño de grano – deltas.	48
Figura 3.23 Delta dominado por mareas.	49
Figura 3.24 Zonas en una planicie de marea	50
Figura 3.25 Columna sintética Formación San José – Bloque noroccidente	51
Figura 3.26 Columna sintética Formación San José – Bloque nororiental	54
Figura 3.27 Columna sintética Formación Santo Domingo – Bloque noroccidental	56
Figura 3.28 Columna sintética Formación Santo Domingo – Bloque nororiental .	57
Figura 3.29 Columna sintética Formación San Francisco – Bloque noroccidental	58
Figura 3.30 Columna sintética Formación San Francisco – Bloque nororiental ...	59
Figura 4.1 Dominios morfoestructurales.....	63
Figura 4.2 Panorámica de las Formaciones Santo Domingo y San Francisco.....	64
Figura 4.3 Panorámica del Bloque La Granja.....	64
Figura 4.4 Panorámica de los dominios morfoestructurales.....	65
Figura 4.5 Panorámica del sur del Bloque Noroccidental.....	65
Figura 4.6 Mapa esquemático de fallas.....	66
Figura 4.7 Esquema de bloques tectónicos	69
Figura 4.8 Panorámica de parte del bloque noroccidental	70
Figura 4.9 Corte bloque noroccidental	70
Figura 4.10 Plano de estratificación bloque noroccidental	70
Figura 4.11 Panorámica del Bloque “La Granja”	71
Figura 4.12 Corte bloque nororiental.....	71
Figura 4.13 Plano de estratificación bloque nororiental “La Granja”	72
Figura 4.14 Relación entre los planos de estratificación de los bloques noroccidental y nororiental.	73
Figura 5.1 Columna sintética del bloque noroccidental	74
Figura 5.2 Columna sintética del bloque nororiental	77
Figura 5.3 Relación entre columnas sintéticas	79
Figura 5.4 Paleogeografía de la zona de estudio hace ~ 14 Ma	80
Figura 5.5 Paleogeografía de la zona de estudio hace ~ 13 Ma	81
Figura 5.6 Paleogeografía de la zona de estudio hace ~ 11 Ma	82
Figura 5.7 Paleogeografía de la zona de estudio hace ~ 7 Ma	82

Figura 5.8 Geografía actual de la zona de estudio..... 83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Síntesis litoestratigráfica de la cuenca Malacatos – Vilcabamba. 10

Tabla 3.1 Dataciones, Unidad Tres Lagunas 21

Tabla 3.2 Dataciones, Formación Loma Blanca 24

Tabla 3.3 Dataciones, Formación Quinara 26

Tabla 3.4 Fósiles, Formación San José 30

Tabla 3.5 Dataciones radiométricas (ZFT), Formación San José 30

Tabla 3.6 Dataciones radiométricas (ZFT), Formación Santo Domingo..... 35

Tabla 3.7 Fósiles Formación San Francisco 40

Tabla 3.8 Dataciones radiométricas (ZFT), Formación San Francisco 40

Tabla 3.9 Litofacies 44

Tabla 3.10 Asociación de Facies..... 46

Tabla 5.1 Resumen de dataciones radiométricas ZFT 84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Columna estratigráfica 1 – Formación San José

Anexo 2 Columna estratigráfica 2 – Formación San José

Anexo 3 Columna estratigráfica 3– Formación San José

Anexo 4 Columna estratigráfica 4 – Formación San José

Anexo 5a Columna estratigráfica 5a – Formación San José

Anexo 5b Columna estratigráfica 5b – Formación San José

Anexo 6 Columna estratigráfica 6 – Formación San José

Anexo 7 Columna estratigráfica 7 – Fm. San José

Anexo 8 Columna estratigráfica 8 – Formación San José

Anexo 9 Columna estratigráfica 9 – Formación Santo Domingo

Anexo 10 Columna estratigráfica 10 – Formación Santo Domingo

Anexo 11 Columna estratigráfica 11 – Formación Santo Domingo

Anexo 12 Columna estratigráfica 12 – Formación Santo Domingo

Anexo 13a Columna estratigráfica 13a – Formación Santo Domingo

- Anexo 13b Columna estratigráfica 13b – Formación Santo Domingo
- Anexo 14 Columna estratigráfica 14 – Formación Santo Domingo
- Anexo 15 Columna estratigráfica 15 – Formación San Francisco
- Anexo 16 Columna estratigráfica 16 – Formación San Francisco
- Anexo 17a Columna estratigráfica 17a – Formación San Francisco
- Anexo 17b Columna estratigráfica 17b – Formación San Francisco
- Anexo 18 Columna estratigráfica 18 – Formación San Francisco
- Anexo 19 Columna estratigráfica 19– Formación San Francisco
- Anexo 20 Columna estratigráfica 20– Formación San Francisco
- Anexo 21 Columna estratigráfica 21 – Formación San Francisco
- Anexo 22 Columna estratigráfica 22 – Formación San Francisco
- Anexo 23 Columna estratigráfica 23 – Formación San Francisco
- Anexo 24 Columna estratigráfica 24 – Formación San Francisco
- Anexo 25 Listado de muestras
- Anexo 26 Ploteo de muestras tomadas y dataciones
- Anexo 27 Medidas Estructurales
- Anexo 28 Ploteo de medidas estructurales
- Anexo 29 Corte centro norte de la cuenca

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En la cuenca sedimentaria de Malacatos – Vilcabamba, localizada al sur del Ecuador, se han realizado varios estudios de carácter geológico en las últimas décadas. Los primeros trabajos hicieron énfasis en la cartografía geológica local (Kennerley, 1973; Kennerley y Almeida, 1975) con breves descripciones litológicas. Estudios posteriores dieron mayor prioridad a la descripción sedimentológica y litológica del relleno detrítico (Fierro, 1991), lo cual permitió plantear un primer modelo de evolución de la cuenca proponiendo un ambiente fluvio – lacustre. Hungerbühler (1997) mediante estudios cronoestratigráficos y micropaleontológicos propone una sedimentación en un ambiente de margen costero – estuarino.

La estructura del norte de la cuenca de Malacatos – Vilcabamba fue descrita inicialmente en forma de dos bloques contiguos (Fierro, 1991), uno hacia el noroccidente de la cuenca y el otro hacia el nororiente, debido a su distinta configuración tridimensional. Hungerbühler (1997) denominó al bloque nororiental como “La Granja”. Nuevos trabajos de campo y datos de sensores remotos sugieren que las características tectono–sedimentarias del bloque “La Granja”, respecto al bloque noroccidental son más complejas tanto en sentido estructural como litoestratigráfico. De esta manera, la correlación estratigráfica entre unidades litológicas, sistemas de depósito y contexto estructural deben ser reconsiderados.

El presente proyecto de titulación busca armonizar de forma coherente la litoestratigrafía con la estructura a fin de plantear un modelo de evolución para esta cuenca sedimentaria y contribuir de esta manera al conocimiento geológico general en las cuencas intramontañosas de los Andes septentrionales ecuatorianos, lo cual proveerá de una línea de base futura para las labores de planificación, manejo y gestión del riesgo geológico en el Ecuador.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Definir las relaciones estratigráficas y la evolución tectonosedimentaria entre los bloques nororiental (La Granja) y noroccidental dentro de la cuenca de Malacatos – Vilcabamba.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Realizar un análisis geomorfológico y fotogeológico del área estudiada.
- ii. Caracterizar petrográficamente las formaciones sedimentarias y el basamento circundante de la zona estudiada.
- iii. Elaborar columnas estratigráficas en los bloques nororiental (La Granja) y noroccidental de la cuenca.
- iv. Analizar las facies y microfacies e interpretar las asociaciones de facies y los sistemas deposicionales de las formaciones neógenas.
- v. Realizar esquemas cartográficos y cortes geológicos esquemáticos.
- vi. Caracterizar las estructuras tectónicas que limitan los bloques nororiental y noroccidental de la cuenca.
- vii. Plantear un modelo tectonosedimentario que explique la evolución de la zona de estudio.

1.3 ALCANCE

- a) La zona de estudio comprende el relleno sedimentario neógeno de la parte norte de la cuenca de Malacatos – Vilcabamba (bloques nororiental “La Granja” y noroccidental) incluyendo los límites con el basamento circundante.
- b) El trabajo de campo incluye únicamente labores en superficie con cartografía geológica realizada a escala 1:50.000.
- c) La caracterización litológica y estratigráfica de las formaciones sedimentarias y el basamento circundante del área de estudio se realizó mediante recolección sistemática de muestras petrográficas para su posterior estudio macro – microscópico.

- d) El análisis de las facies, asociación de facies y la interpretación de los sistemas de depósito se desarrolló a través del estudio de columnas estratigráficas, datos micropaleontológicos y observaciones puntuales en afloramientos recientemente creados.
- e) Se efectuó la caracterización morfoestructural para los bloques involucrados en el estudio, mediante la toma detallada de medidas estructurales sobre el terreno y en base al uso de nuevas herramientas digitales (DTM y análogos) además de fotografías aéreas.

1.4 METODOLOGÍA

1. La recopilación bibliográfica se realizó tomando como referencia los estudios previos como artículos, tesis de ingeniería y doctorado ejecutados en la zona, además de bibliografía básica relacionada al tema desarrollado.
2. La interpretación morfoestructural se realizó utilizando fotografías aéreas a escala 1:60.000, Modelos Digitales de Terreno (DTM) de 30 m x 30 m y de 3 m x 3 m, análogos de imágenes satelitales ASTER y análogos de las ortofotos escala 1: 30.000.
3. El trabajo de campo se realizó en 3 campañas de 10 días cada una. Esta labor fue ejecutada únicamente en superficie.
4. La identificación litológica, tanto del basamento como de las formaciones sedimentarias del área de estudio, se realizó mediante el estudio macro y microscópico de 37 muestras petrográficas.
5. El análisis de las facies de las formaciones estudiadas se realizó a través del levantamiento en campo de 13 columnas estratigráficas más las observaciones puntuales en nuevos afloramientos, además de la revisión de 11 columnas tomadas de trabajos anteriores para fines comparativos.
6. El estudio de las facies, asociaciones de facies y sistemas de depósito se realizó en base a la información recopilada en campo y a la posterior interpretación en gabinete.
7. Los límites tectónicos y estratigráficos de la cuenca respecto al basamento fueron definidos mediante el mapeo de la zona a escala 1:50.000 y referenciados en el sistema UTM, WGS 1984, zona 17S.

8. Se realizó la confrontación de datos geológicos y geomorfológicos a través de los esquemas cartográficos y cortes geológicos esquemáticos para definir el modelo de evolución para la zona de estudio.

1.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA

1.5.1 UBICACIÓN Y ACCESO

La cuenca de Malacatos – Vilcabamba se encuentra ubicada en la región andina del sur del Ecuador. De acuerdo a la división política pertenece a la provincia de Loja, cantones Loja y Catamayo.

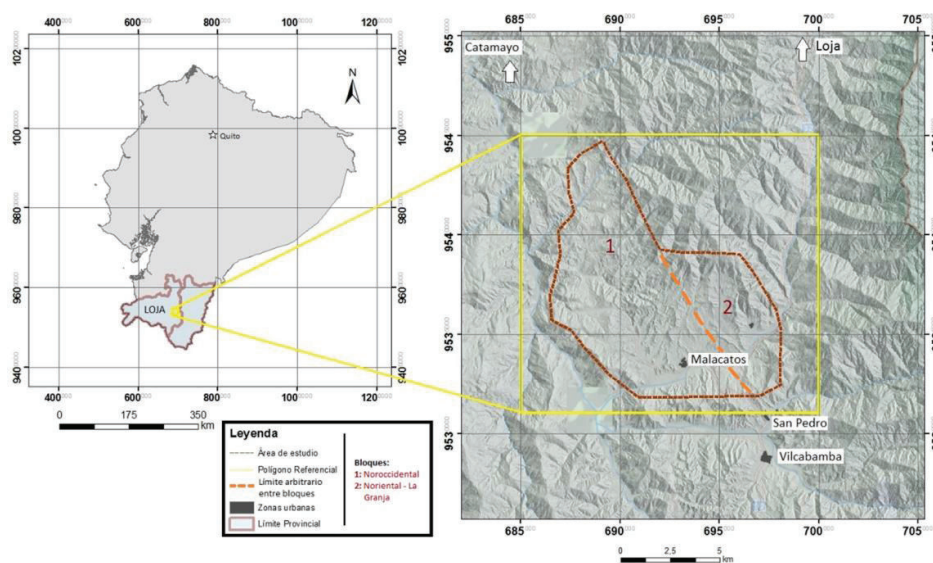


Figura 1.1 Mapa de ubicación de la zona de estudio

Cartográficamente la zona estudiada se encuentra distribuida en parte de las hojas topográficas, escala 1:50.000, Nambacola (NVIII – B 1), Gonzanamá (NVIII – B 3) y Vilcabamba (NVIII – B 4). Se enmarca dentro de un polígono irregular de aproximadamente 70 km², localizado entre las coordenadas UTM: 685000 / 9545000; 700000 / 9545000; 685000 / 9531000; 700000 / 9531000 (Figura 1.1).

El área estudiada está aproximadamente a 40 km al sur de la ciudad de Loja. La principal vía de acceso es la carretera Loja – Malacatos – Vilcabamba que atraviesa las parroquias de Malacatos y San Pedro de Vilcabamba. Vías de segundo orden comunican Malacatos con Catamayo y Purunuma, además de conectar caseríos y poblados menores.

1.5.2 MORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA

La zona de estudio se localiza en la región Sierra e incluye, geológicamente, las cuencas intramontañosas y parte de la Cordillera Real. La cuenca se caracteriza por tener amplios valles rodeados de pequeñas elevaciones, entre 1.500 y 1.800 msnm (Figura 1.2). El dominio de la Cordillera Real se caracteriza por formar cañones estrechos separados por cuchillas y el incremento abrupto de elevación superando los 2.000 msnm (Sector San Francisco).

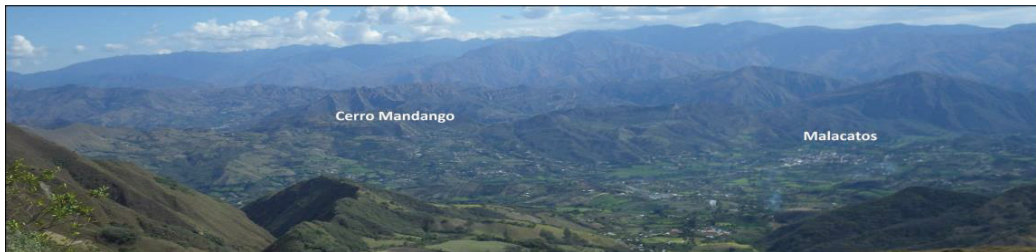


Figura 1.2 Panorámica del nororiente de la cuenca de Malacatos – Vilcabamba. Vista hacia el SSE desde la vía San Francisco – San Antonio de Paycapamba (UTM: 695820 / 9538201).

Los principales rasgos morfológicos son las Cordilleras de Cajanuma, al norte, y de Cararango, al sureste. Las elevaciones más importantes son Loma Capulí, Cerro Yunanga, Loma Ullaguana, Loma Tuco, Filo de Congoya, Cerro Minas, Cerro Pan de Azúcar, Loma Blanca, Cerro Purco y Loma Batanes.

La principal cuenca hidrográfica es la del Río Solanda – Piscobamba que está formada, en la zona estudiada, al sur por el Río Malacatos con sus afluentes, las quebradas de San Francisco, Trinidad y Ceibopamba, mientras al norte las quebradas Jaboncillo, Santo Domingo, Picota, Cobalera, Naranjo Dulce, La Merced, San Agustín descargan directamente en el río Solanda.

La dirección de la red fluvial es prácticamente ortogonal respecto al río principal de trayectoria NW – SE y en general está impuesta por la disposición de los macizos montañosos antes mencionados (I.I.C., 1985). Se debe resaltar el hecho de que muchas de las quebradas permanecen secas o con un nivel de caudal bajo en gran parte del año, debido al clima seco predominante en el sector.

1.5.3 CLIMA

La zona de estudio presenta dos tipos de clima claramente diferenciables. Para la cuenca se tiene un clima subtropical – seco con veranos calurosos y lluvias escasas, donde el rango térmico varía entre 18,0 y 21,9 °C. En las partes más elevadas (sobre los 1.900 m) se tiene clima temperado con una temperatura anual media de entre 12,0 y 17,9 °C, con un nivel medio de precipitaciones.

Los meses con mayor cantidad de lluvias van de octubre a mayo con un apogeo entre febrero y abril, mientras que para el verano, entre mayo y octubre, las precipitaciones disminuyen y prevalece un clima seco sobre todo en la cuenca, siendo esta estación climática la más adecuada para actividades turísticas y donde se tiene menos nubosidad, facilitando las observaciones paisajísticas y morfológicas.

La pluviosidad de la zona estudiada es del tipo semiárido (400 – 600 mm/año) para la cuenca y del tipo semihúmedo para la parte alta (600 – 1.000 mm/año) (Maldonado, 2014).

1.5.4 FLORA Y FAUNA

La vegetación en la cuenca es de tipo Matorral Seco Alto caracterizada por la presencia de arbustos caducifolios no superiores a los 6 m de alto, con especies como el faique (*Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. Ex Will), ceibo blanco (*Chorisia insignis* Kunth), chamana (*Dodonaea* sp.), arabisco (*Jacaranda mimosifolia*), huilco (*Anadenanthera colubrina*), porotillo (*Erythrina smithiana* Krukoff). Las huertas son de tipo Cultivos Asociados Subtropicales dedicadas al cultivo de árboles frutales, banano, yuca y otras especies de ciclo corto, generalmente dedicadas al consumo familiar, además de áreas de monocultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y café. En las partes altas se tiene pastizales y Cultivos Asociados Andinos caracterizados por estar compuestas de policultivos de ciclo corto (maíz blanco, frejol, arveja) y cultivos perennes en donde cada especie tiene asignado un espacio específico de pequeña extensión (Cueva, 2010).

La fauna es más bien escasa, sin representatividad; en cierta manera las mismas especies se hallan en toda las comarcas. Se tiene ganado bovino, porcino y la crianza de animales de corral. En cuanto a los animales no domesticados se tiene entre las aves de mayor presencia la perdiz, paloma, tuga, tordo, chirote, chilalo, lapo, suiipe, gorrión, jilguero, sucurimba, chiroca, carpintero, putilla, garrapatero, charro, gavilán, pava del monte, mirlo, torcaz y gallinazo. Los mamíferos, cuya existencia aún puede notarse, son principalmente el armadillo o tumulle, la ardilla, el conejo, el chucurillo o comadreja, erizo, zorro, ratón, venado y chonto.

1.5.5 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

El principal centro poblado es Malacatos con 7.114 habitantes, de los cuales 3.577 son hombres y 3.537 mujeres (INEC, 2010). Esta población es parte de la parroquia rural homónima que pertenece al cantón Loja y cuenta con 8 barrios urbanos, 26 barrios rurales y 14 caseríos. El área estudiada abarca una parte poco poblada y de poca extensión que pertenece a la parroquia rural El Tambo del cantón Catamayo. Desde el punto de vista étnico la población de la zona es mayoritariamente mestiza.

Alrededor de un 45 % de la población se dedica a actividades agropecuarias. La producción agrícola está centrada en la producción de caña de azúcar, hortalizas y frutas, mientras que la pecuaria a la crianza de ganado bovino. Un 30 % de la población son empleados privados o públicos, el porcentaje restante se dedica a actividades mineras (material pétreo), turísticas, artesanales o está desempleado (INEC, 2010).

La actividad más importante de la zona, la agropecuaria, se ve limitada por la falta de acceso a la tierra productiva debido a que las pequeñas propiedades de las que disponen en algunos casos se han parcelado para ser vendidas a personas con el objetivo de construir fincas vacacionales

La producción de caña de azúcar, uno de los principales productos de la región, está destinada en su mayoría para el procesamiento de panela y aguardiente que se realiza en forma artesanal. Sin embargo en los últimos años han ido

desapareciendo las fábricas de panela por el cambio de uso del suelo de agrícolas a urbanizaciones para fincas vacacionales.

1.6 SÍNTESIS DE TRABAJOS ANTERIORES

Los primeros trabajos realizados en la zona fueron llevados adelante por Wolf a finales del siglo XIX, en el siglo siguiente varios autores estudiaron los depósitos sedimentarios de la cuenca (Bristow y Hoffstetter, 1977). Sauer (1965) propuso que el relleno sedimentario de la cuenca es de edad miocénica y denominó a la cuenca Yangana – Malacatos (Hungerbühler, 1997).

La primera visión general de la estratigrafía de la cuenca fue establecida entre los años 1969 – 1972 por el programa de las Naciones Unidas U.N.D.P., Fase II, que desarrollo estudios geológicos enfocados en la busca de recursos (yeso y lignito) en el suroccidente del Ecuador, incluyendo la zona de estudio.

Kennerley (1973) realizó el primer trabajo de geología regional detallado en la provincia de Loja y denominó a la cuenca Malacatos – Vilcabamba, definió las formaciones Algarrobillo, Cabalera y Cerro Mandango para el relleno sedimentario; Loma Blanca para el basamento ígneo y la serie Zamora para el basamento metamórfico. Estructuralmente describe al centro de la cuenca, entre San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba, una falla N – S que genera la repetición de la secuencia sedimentaria y un sistema de bloques fallados que presentan un hundimiento al W con inclinación hacia el E.

Kennerley y Almeida (1975) en su trabajo para el Programa de Cartografía Geológica, debido a las semejanzas litológicas, unificaron las formaciones sedimentarias de las hojas geológicas de Loja y Gonzanamá, escala 1:100.000, correlacionándolas entre sí y conservando los nombres de las formaciones de la cuenca de Loja (Trigal, San Cayetano y Quillollaco), mantuvieron la formación Loma Blanca como el basamento ígneo y la Serie Zamora como el basamento metamórfico.

A mediados de los años ochenta se llevaron adelante estudios enfocados en la exploración de recursos (yeso y lignito) en las cuencas neógenas del sur del

Ecuador (Putzer, 1985; I.I.C., 1985). En estos trabajos, que tuvieron una orientación económica principalmente, se menciona escuetamente un ambiente de margen costero para la cuenca de Malacatos – Vilcabamba, cambiando por completo la interpretación previa de esta cuenca antes considerada como intramontañosa.

Fierro (1991) realiza una descripción detallada de la cuenca y plantea un modelo de evolución geodinámica y propone un ambiente fluvio – lacustre para el relleno sedimentario de la cuenca, interpretándola nuevamente como intramontañosa. Estructuralmente refiere una falla, con trazo N177, que atraviesa el centro de la cuenca, dividiendo el norte en dos bloques. Esta estructura genera una repetición de la secuencia sedimentaria al occidente y al oriente.

Entre 1986 y 1993 el proyecto de cooperación BGS – CODIGEMM realizó estudios de la geología y potencial mineral en la Cordillera Real donde, entre otros puntos, se realizó la discriminación litotectónica de varias unidades y sobretodo se estudió el contexto regional y se planteó un modelo de evolución para la cordillera.

Hungerbühler (1997) define una cronoestratigrafía diferente de la zona, mediante nuevos datos paleontológicos y dataciones radiométricas con trazas de fisión (ZFT); las nuevas formaciones establecidas para la cuenca fueron San José, Santo Domingo y Cerro Mandango, que son diacrónicas respecto a las formaciones de la cuenca de Loja a pesar de tener similitud de facies. Interpreta un ambiente de depósito de margen costero – estuarino para el Mioceno, continuando el debate sobre la evolución geodinámica de las cuencas neógenas del sur del Ecuador. Estructuralmente vincula la falla inversa “Picota”, entre Picota y San Pedro de Vilcabamba, a la repetición de las formaciones sedimentarias dentro de un bloque al que el mismo autor denominó “La Granja” y ubica en el centro de la cuenca un sinclinal con un eje de dirección NW – SE.

Corrochano (2014) realiza estudios en la cuenca y reconsidera su subdivisión en base a criterios sedimentológicos y estratigráficos definiendo la nueva

Formación San Francisco. INIGEMM (en preparación) realiza la actualización cartográfica en parte de la zona estudiada considerando estos criterios.

Tabla 1.1 Síntesis litoestratigráfica de la cuenca Malacatos – Vilcabamba.

		Edad	Kennerley (1973)	Kennerley y Almeida (1975)	Hungerbühler (1997)	Corrochano (2014)
Relleno Sedimentario	Mioceno	Ta	Cerro Mandango	Quillollaco	Cerro Mandango	Cerro Mandango San Francisco
		M	Cabalera	San Cayetano	Santo Domingo	Santo Domingo
			Algarrobillo	Trigal	San José	San José
		Te	Loma Blanca	Loma Blanca	Quinara	Quinara
	Basamento	Oligoceno	Loma Blanca	Loma Blanca	Loma Blanca	Loma Blanca
Eoceno						
Paleoceno						
Cretácico						
Pre – Cretácico		Zamora	Zamora	Tres Lagunas Chigüinda	Tres Lagunas Chigüinda	

CAPÍTULO 2.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 MARCO GEODINÁMICO

El Ecuador forma parte de los Andes septentrionales, ubicados al norte de la deflexión de Huancabamba y desarrollados como resultado de la acreción de varios terrenos alóctonos en diferentes eventos contra la placa continental sudamericana (Hungerbühler y otros, 2002). La convergencia entre las placas Nazca y Sudamericana, iniciada en el Oligoceno, tiene como resultado el levantamiento del denominado Bloque norandino cuya expresión morfológica se refleja en las dos cordilleras subparalelas, que atraviesan la serranía ecuatoriana con dirección NNE y que están separadas por depresiones tectónicas rellenas con sedimentos volcánicos y/o sedimentos neógenos, denominadas valle interandino al norte y cuencas intramontañosas al sur (Reyes, 2006).

Fisiográficamente, el territorio continental del país, se divide en tres regiones claramente diferenciadas, denominadas Planicie Costera occidental (Costa), área central montañosa o Andes (Sierra) y zona baja oriental (Oriente). En este contexto, el área de estudio se encuentra dentro de la región Sierra (Figura 2.1).

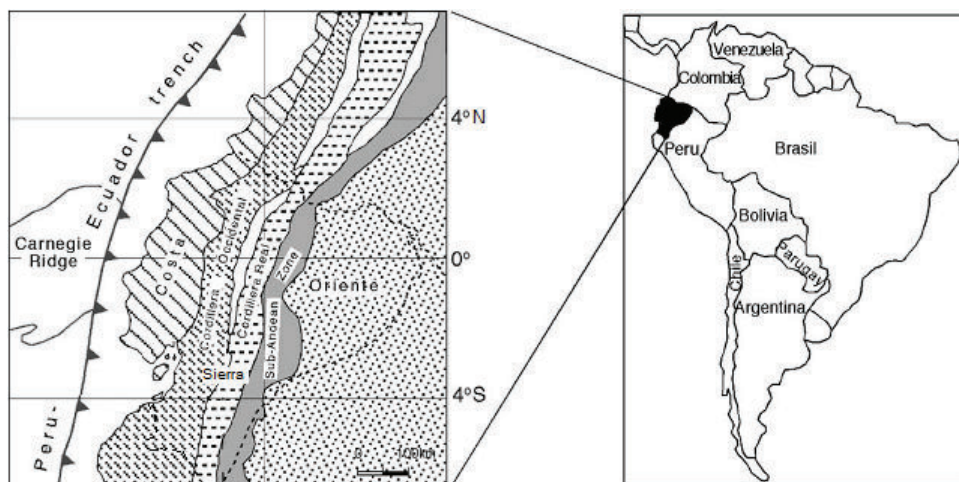


Figura 2.1 Subdivisión morfotectónica simplificada del Ecuador
Modificado de Hungerbühler y otros (2002)

La Sierra se extiende a lo largo del país con orientación NNE – SSW, paralela al zona de subducción entre las placas tectónicas Nazca y Sudamericana. En esta región existen cuatro zonas geológicas denominadas Cordillera Occidental, Callejón Interandino, cuencas Intramontañosas y Cordillera Real. La zona de estudio involucra las dos últimas.

2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

Las cuencas intramontañosas del sur del Ecuador (Figura 2.2) se caracterizan por presentar episodios de apertura donde se acumularon los sedimentos y episodios de cierre donde se deformaron y levantaron. El ambiente de depósito puede alternar entre secuencias sedimentarias litorales y continentales neógenas que durante su depositación tuvieron interacción con un volcanismo sincrónico, además de presentar evidencias de tectónica sinsedimentaria.

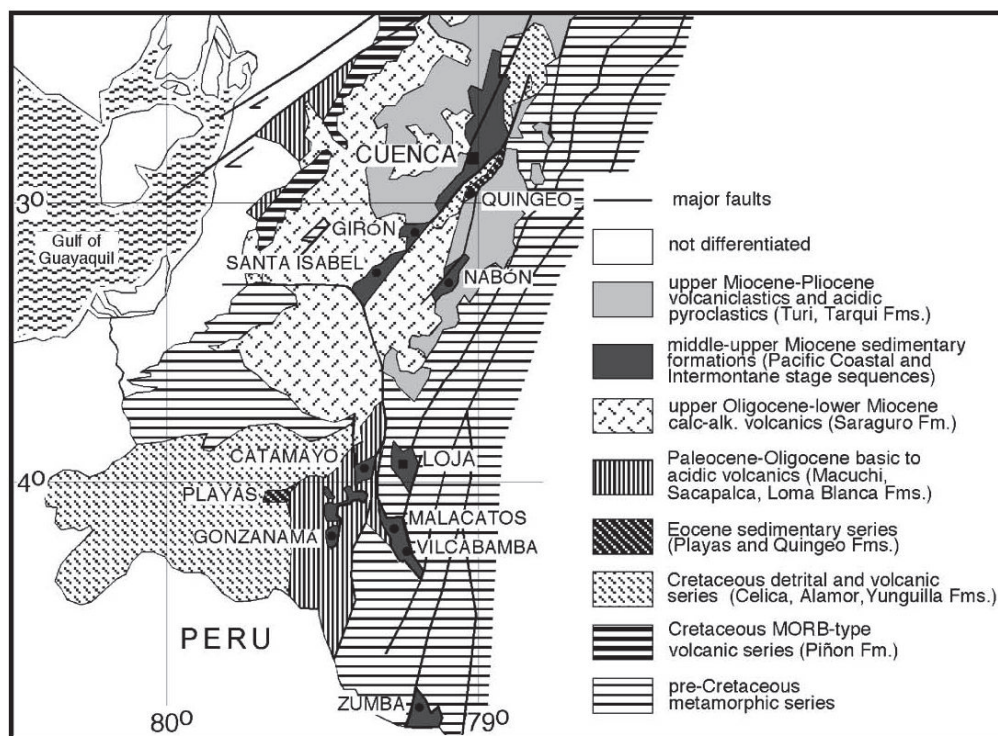


Figura 2.2 Mapa geológico simplificado del sur Ecuador con la localización de las series sedimentarias del Mioceno
Modificado de Hungerbühler y otros (2002)

La mayor parte de estas cuencas se asientan sobre un basamento metamórfico y/o volcánico que conforma la parte suroccidental de la Cordillera Real y parte del segmento suroriental de la cordillera Occidental. La Cordillera Real está formada

esencialmente por rocas metamórficas de edades pre–cretácicas asociadas con depósitos sedimentarios y volcano – sedimentarios de ambientes marinos y continentales clasificados en sus diferentes unidades y dominada por una deformación polifásica

Litherland y otros (1994) segmentaron la Cordillera Real en terrenos o divisiones litotectónicas, subdivididas en unidades que muestran un grado de coherencia litológico y tectónico (Figura 2.3).

El terreno Guamote, al occidente, está formado por pizarras y cuarcitas separadas por la falla de Peltetec de volcanosedimentos agrupados en el terreno Alao. El Frente Baños limita Alao, de las rocas metamórficas de bajo grado y los granitoides tipo S, del terreno Loja; el límite entre este y los plutones tipo Iy las secuencias volcanosedimentarias del terreno Salado es la falla Llanganates. Al oriente, la falla Cosanga – Méndez limita Salado de la división amazónica formadas por rocas ígneas jurásicas y sedimentos paleozoicos.

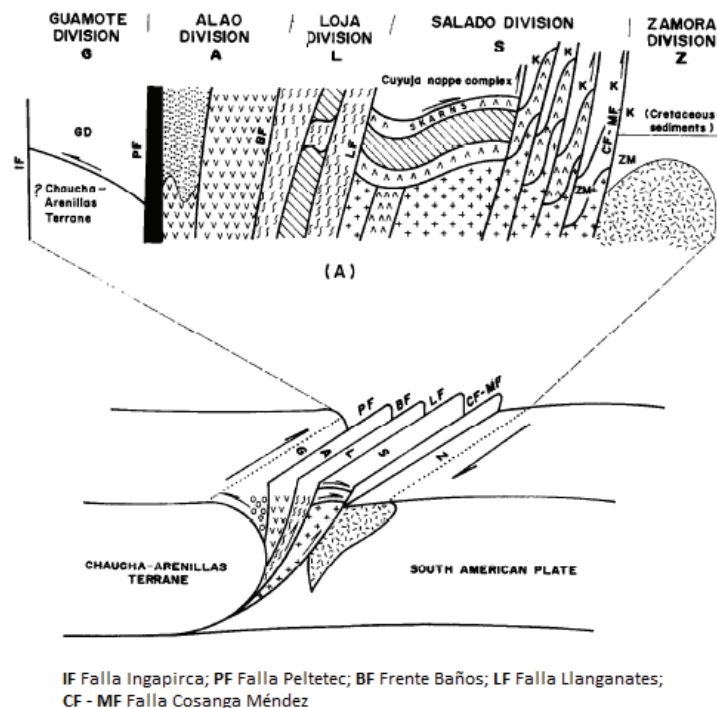


Figura 2.3 Esquema de la Cordillera Real
(A) Sección esquemática a lo largo de la Cordillera Real,
(B) Posible modelo de colisión y disposición individual de las divisiones litotectónicas.
Tomado de Aspdén y Litherland, 1992

2.2.1. DEFORMACIÓN MESO – CENOZOICA

A partir del análisis litotectónico, Litherland y otros (1994) definieron dos eventos tectono–metamórficos principales en la Cordillera Real, Tres Lagunas y Peltetec, reflejados en la separación de terrenos a causa de fallas con potencial desplazamiento y relacionados con estructuras asociables producto de una historia estructural común.

El “Evento Tres Lagunas” (Triásico) afectó a las unidades paleozoicas Chigüinda, Agoyán y Sabanilla, que forman parte del Terreno Loja, y a la Unidad Isimanchi. Está sincronizado con la intrusión del granitoide Tres Lagunas, hace alrededor de 228 Ma y es correlacionable con el “Evento Moro Moro” en el Bloque Amotape Tahuín (BAT).

El “Evento Peltetec” (Jurásico tardío – Cretácico temprano) afectó la Cordillera Real y sus diferentes terrenos. Las principales evidencias observadas son la discordancia entre las rocas metamórficas del terreno Alao y la Formación Yunguilla del Cretácico tardío y la discordancia entre la Unidad jurásica Misahuallí y la Formación Hollín. La edad primaria, para este evento, es la del Terreno Alao (140 Ma), mientras que las edades para los plutones Zamora, Abitagua y Azafrán se interpretan como edades de reseteo. Regionalmente el evento corresponde al levantamiento y a la erosión de la protocordillera anterior al depósito de la Formación Tena y es correlacionable con el “Evento Palenque” en el BAT. La base de la Formación Hollín define la edad mínima para este evento (Aptiano – Albiano).

Por otra parte, el basamento volcánico de las cuencas está agrupado en los Grupos Sacapalca (Eoceno – Paleoceno?) y Saraguro (Oligoceno – Mioceno) e involucra rocas volcánicas y volcánico – sedimentarias (Baldock, 1982). En general consiste en rocas de composición intermedia – ácida, principalmente andesítica, además de tobas, brechas y aglomerados de arco continental (Égüez y Poma, 2001).

Estos grupos volcánicos, que contienen gran número de formaciones y unidades informales, comprenden rocas volcánicas subaéreas que fueron depositadas en

una topografía distinta a la actual y deben su origen a una importante generación de magmas de tipo calcoalcalino.

Finalmente, el relleno de las cuencas reflejaría la historia sedimentaria y tectónica de un arco neógeno en los Andes meridionales del Ecuador y estaría asociado, probablemente, a la transgresión de mares someros en las ensenadas de Cuenca y Loja desde las cuencas de Manabí y Progreso en el Mioceno medio (Hungerbühler, 1997). Estas secuencias pueden ser encontradas en las cuencas de Cuenca, Girón – Santa Isabel, Nabón, Loja, Catamayo – Gonzanamá y Malacatos – Vilcabamba (Figura 2.2).

Para el Mioceno tardío (< 10 Ma), una inversión tectónica y compresional ocurrió en la Región Interandina al sur del Ecuador, la cual bloqueó la comunicación de las cuencas con el océano Pacífico, generando facies sedimentarias de origen lacustre y la posterior colmatación de las cuencas. Durante esta etapa temprana intermontañosa (9,5 – 8,0 Ma) se produce una sedimentación clástica continental mixta y piroclástica. Más tarde, la deposición volcánica prevaleció (Hungerbühler y otros, 2002).

2.2.2. DEFORMACIÓN CUATERNARIA

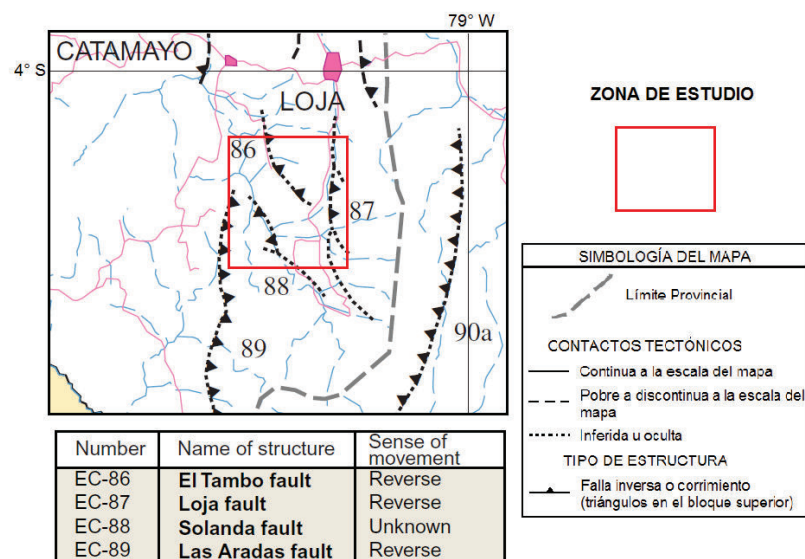


Figura 2.4 Mapa de Fallas Cuaternarias de la zona de estudio. Modificado de Égüez y otros (2003).

La zona de estudio está afectada por estructuras de naturaleza frágil, fallas, y de naturaleza dúctil, zonas de cizallamiento y plegamientos. Se tiene varios sistemas de fallas regionales y fallas menores asociadas con una tendencia dominante de dirección N – S y NW – SE (Figura 2.4). Algunas de estas estructuras constituyen contactos tectónicos entre unidades geológicas.

Égüez y otros (2003) reportan para el área estudiada las siguientes estructuras frágiles activas:

2.2.2.1 Fallas N – S

Loja: Falla inversa con buzamiento al E, asociada a varias ramificaciones, una de estas eleva la Unidad Chigüinda para formar el límite de la Cuenca Malacatos – Vilcabamba al lado oriental. Morfológicamente forma escarpes y los controles de la mayoría de los drenajes irregulares son pronunciados. La mayor parte del trazo de este segmento de la falla se oculta por aluviales. Tiene una longitud aproximada de 34,7 km; rumbo promedio $N14^{\circ}E \pm 21^{\circ}$ y una tasa de desplazamiento menor a 1 mm/año.

Solanda: Constituye el límite occidental de la Cuenca Malacatos – Vilcabamba. No se tienen datos claros de su movimiento, aunque se conoce que en la parte norte de la cuenca tiene buzamiento hacia el W. Morfológicamente se forman escarpes irregulares. Tiene una longitud aproximada de 21 km; rumbo promedio $N41^{\circ}E \pm 22^{\circ}$ y una tasa de desplazamiento menor a 1 mm/año.

2.2.2.2 Fallas NW – SE

El Tambo: Falla inversa con buzamiento al NE, limita la cuenca Malacatos – Vilcabamba al norte. Divide la formación Loma Blanca al suroeste, de las unidades Chigüinda y Tres Lagunas al noreste. Morfológicamente se tienen escarpes irregulares. La mayor parte del trazo de la falla está tapado por la presencia de coluviales. Cuando ingresa en la cuenca en el sector de Picotas, cambia su nombre a Falla Picota. En conjunto se tiene una longitud aproximada de 17,9 km; rumbo promedio $N28^{\circ}W \pm 19^{\circ}$ y una tasa de desplazamiento menor a 1 mm/año.

CAPÍTULO 3.

ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA

El presente capítulo se basa en el trabajo de campo, el muestreo sistemático efectuado en la zona de estudio y la descripción petrográfica a nivel macro y microscópico de 37 muestras recolectadas. Además, se describen las facies, asociaciones de facies y los sistemas de depósito del relleno neógeno de la cuenca, analizados mediante 24 columnas estratigráficas y secciones en los bloques noroccidental y nororiental y el estudio de afloramientos aislados.

3.1 ESTRATIGRAFÍA

3.1.1 BASAMENTO

La cuenca neógena Malacatos – Vilcabamba tiene como basamento las rocas metamórficas de la Cordillera Real, Unidades Chigüinda y Tres Lagunas, y las rocas volcánico – sedimentarias asociadas al volcanismo calcoalcalino paléogeno, Formación Loma Blanca, y neógeno, Formación Quinara.

3.1.1.1 Unidad Chigüinda

Esta unidad fue definida por Litherland y otros (1994) como parte del terreno metamórfico Loja, en la Cordillera Real, que se caracteriza por la asociación de metasedimentos semipelíticos de edad paleozoica? y el granitoide tipo S de edad triásica? Tres Lagunas.



Figura 3.1 Unidad Chigüinda

Vista de Loma Panecillo y Loma Ullaguana desde la vía El Carmen – El Belén (UTM: 696116 / 9535370) hacia el SE

Distribución y localidad tipo.- La unidad aflora en el borde oriental de la cuenca. La localidad tipo está en la carretera Loja – Malacatos (697498 / 9535390), aunque en general se tiene buenos afloramientos en la misma carretera, al norte de El Carmen, Loma Panecillo (697342 / 9532501) y Loma Orta (Figura 3.1).

Litología.- La unidad está formada por rocas metamórficas de grado bajo a medio, desde filitas y cuarcitas hasta esquistos, el protolito es pelítico.

Las filitas son de color negro a gris oscuro, tienen textura lepidoblástica y estructura foliada. Se caracterizan por estar compuestas principalmente por sericita, donde se observa grafito en menores cantidades, materiales arcillosos aciculares y cristales pequeños de cuarzo generalmente recristalizado. Las rocas se asocian a un metamorfismo regional.

Las cuarcitas son de color blanco grisáceo, textura granoblástica y estructura masiva. Se observa variación en el tamaño de grano que va desde limo hasta arena muy fina con una matriz recristalizada formada por impurezas de grafito y materiales arcillosos. En varias zonas se observan estructuras de deformación asociadas, tales como inclusiones aladas, sigmoidales y pliegues menores.

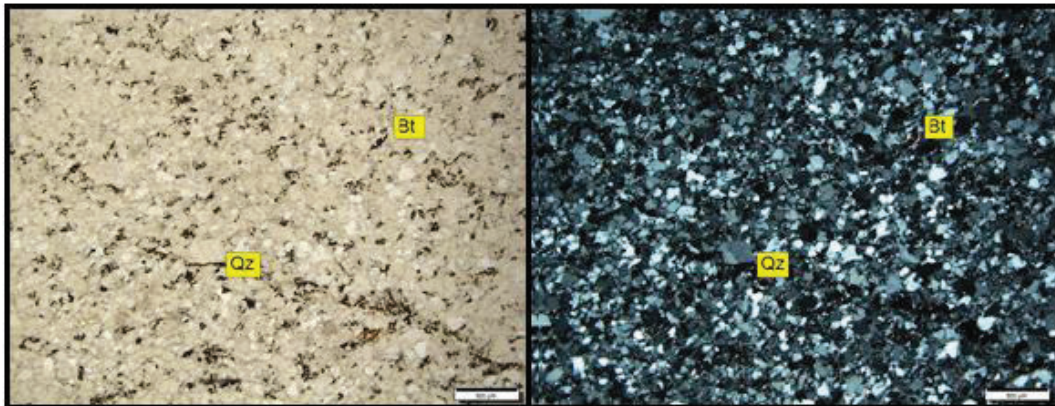


Figura 3.2 Lámina delgada, Unidad Chigüinda
TS-19 Cuarcita (UTM: 697342 / 9532501)

Una muestra de la unidad estudiada microscópicamente (TS-19), presenta microtextura granoblástica y microestructura masiva. Esta cuarcita está constituida por cuarzo, biotita y óxidos. Los cristales de cuarzo están suturados y son policristalinos. Los opacos están diseminados y son amorfos. La facies es de esquistos verdes y el protolito es pelítico (Figura 3.2).

Relación estratigráfica y potencia.- La Unidad Chigüinda constituye parte del basamento metamórfico del área de estudio. Tiene contacto tectónico con la Unidad Tres Lagunas. Con el sobreyacente basamento volcánico (Formaciones Loma Blanca y Quinara) y las formaciones sedimentarias (San Francisco y Cerro Mandango) tiene contacto discordante.

Se estima una potencia aproximada de 800 m basados en variaciones de altura.

Edad.- Para el presente trabajo, se conserva el criterio expuesto por Litherland y otros (1994) quienes ubican la unidad en el Paleozoico.

3.1.1.2 Unidad Tres Lagunas

Esta unidad fue definida por Litherland y otros (1994) como la principal unidad ígnea del terreno metamórfico Loja, en la Cordillera Real. Los principales afloramientos se distribuyen a lo largo de un cinturón N – S.

Distribución y localidad tipo.- La unidad aflora al centro – norte de la cuenca. La localidad tipo se ubica en la vía Picota – La Merced (Figura 3.3). La unidad tiene sus mejores exposiciones en las zonas altas (Loma Capulí).



Figura 3.3 Unidad Tres Lagunas
Vía Picota – La Merced (UTM: 691050 / 9539900)

Litología.- La unidad está constituida por un característico granitoide con cuarzo de tonalidad gris – azulada. Presenta deformación, metamorfismo y

recristalización observable en rocas que conservan su textura ígnea pasando por gneises, granitos miloníticos y augen gneis.

Las rocas se agrupan en cuerpos masivos graníticos, con textura fanerítica de grano medio a grueso y estructura masiva; y en cuerpos gnéisicos con textura granolepidoblástica y estructura gnéisica. Las rocas tienen plagioclasa, cuarzo, muscovita, biotita y feldespato, presentando en algunos casos argilización.

Una muestra representativa de la unidad (TS-08), microscópicamente, presenta microtextura granolepidoblástica y microestructura foliada – gnéisica, este ortogneis está constituido por cuarzo, biotita, feldespato K, muscovita y plagioclasa. Además, tiene sericita producto de la alteración de los feldespatos, cuarzo secundario y granate. El cuarzo es monocristalino. La facies es de esquistos verde y el protolito es cuarzo – feldespático (Figura 3.4).

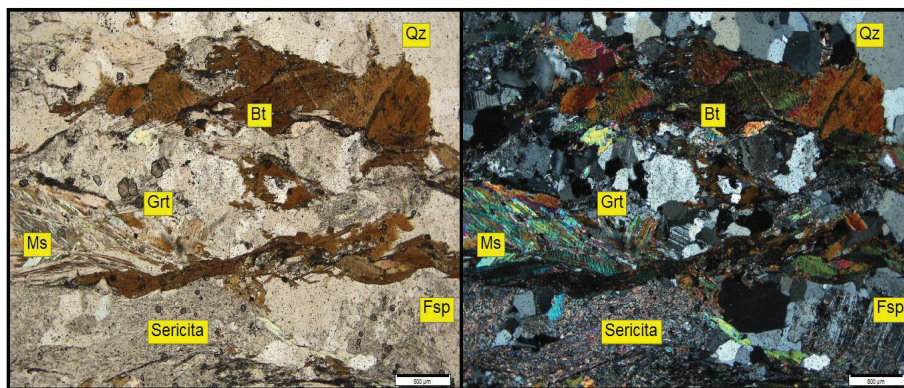


Figura 3.4 Lámina delgada, Unidad Tres Lagunas
TS-08 Ortogneis (UTM: 691050 / 9539900)

Relación estratigráfica y potencia.- La Unidad Tres Lagunas constituye parte del basamento metamórfico del área de estudio. Tiene contacto tectónico con la Unidad Chigüinda. Con el sobreyacente basamento volcánico (Loma Blanca y Quinara) tiene contacto discordante y con las formaciones sedimentarias (Santo Domingo, San Francisco) contacto fallado.

Se estima una potencia aproximada de 700 m basados en variaciones de altura.

Edad.- Para la zona de estudio diferentes autores han realizado dataciones absolutas (Tabla 3.1). Litherland y otros (1994) determinan una edad de 227.6 ± 3.2 Ma.

Tabla 3.1 Dataciones, Unidad Tres Lagunas

Muestra	UTM X	UTM Y	Sector	Método	Edad (Ma)	Referencia
SN65	691830	9540761	Loma El Capulí	K/Ar (msc)	99 ± 3 (r)	Litherland y otros (1994)
SN66	691830	9540761	Loma El Capulí	K/Ar (msc)	100 ± 3 (r)	
SN72	691830	9540761	Loma El Capulí	Rb/Sr	200 ± 12	
CRSH/89/11A	691450	9539236	Q. La Picota	K-Ar (msc)	100 ± 3 (r)	
CRSH/89/11A	691450	9539236	Q. La Picota	K-Ar (bt)	65 ± 9 (r)	
CRSH/89/11B	691450	9539236	Q. La Picota	K-Ar (msc)	99 ± 3 (r)	
CRSH/89/11B	691450	9539236	Q. La Picota	K-Ar (bt)	63 ± 3 (r)	
CRSH/89/11F	691450	9539236	Q. La Picota	K-Ar (msc)	99 ± 3 (r)	
CRSH/89/11F	691450	9539236	Q. La Picota	K-Ar (bt)	65 ± 2 (r)	
SN307	691450	9539236	Q. La Picota	Rb/Sr	200 ± 12	
MS 254	691842	9538536	Q. Jaboncillo	ZFT	61.6 ± 5.0 (r)	Hungerbühler (1997)

3.1.1.3 Unidad Loma Blanca

La formación fue definida por Kennerley (1973) y correlacionada con la parte joven de la Formación Saraguro al norte (Kennerley, 1980; en Hungerbühler, 1997). Baldock (1982) incluyó la formación en el Grupo Saraguro. Hungerbühler (1997) retoma el nombre inicial pero bajo una nueva discriminación, definición estratigráfica, diferencia de edades y ubicación geográfica, además la subdivide en dos miembros *Solanda* y *Purunuma Cuarzo Porfírico*.

**Figura 3.5** Formación Loma Blanca

- (A) Roca piroclástica. Vía Malacatos – Purunuma (UTM: 687236 / 9536368)
- (B) Roca epiclástica. Sendero Loma Cochasquí (UTM: 687312 / 9537670)
- (C) Brecha volcánica. Sendero Loma Cabrería (UTM: 689870 / 9534099)
- (D) Tufitas estratificadas. Sendero Loma Cabrería (UTM: 690301 / 9533890)

Distribución y localidad tipo.- La formación aflora al occidente de la cuenca. La localidad tipo está en la vía Malacatos – Purunuma (687236 / 9536368) en el sector de Loma Cochasquí. En esta vía se puede apreciar buenos afloramientos, al igual que en el sendero entre Loma Cabrería y Loma Blanca.

Litología.- Se observó que la formación incluye rocas piroclásticas y epiclásticas de composición intermedia – ácida de color rojo o cubiertas de una pátina de tonalidad blanco amarillenta, textura epiclástica – piroclástica y estructura masiva. Mineralógicamente tienen plagioclasa, epidota, clorita, cuarzo y calcita, se aprecia alteración argílica. Se incluyen brechas de composición andesítica y coloración verdosa, textura brechosa y estructura masiva, además de estratos de tufitas estratificadas con aporte volcánico, textura epiclástica y estructura depositacional (Figura 3.5). La formación está cortada por diques andesíticos de color café violáceo, textura porfirítica y estructura masiva.

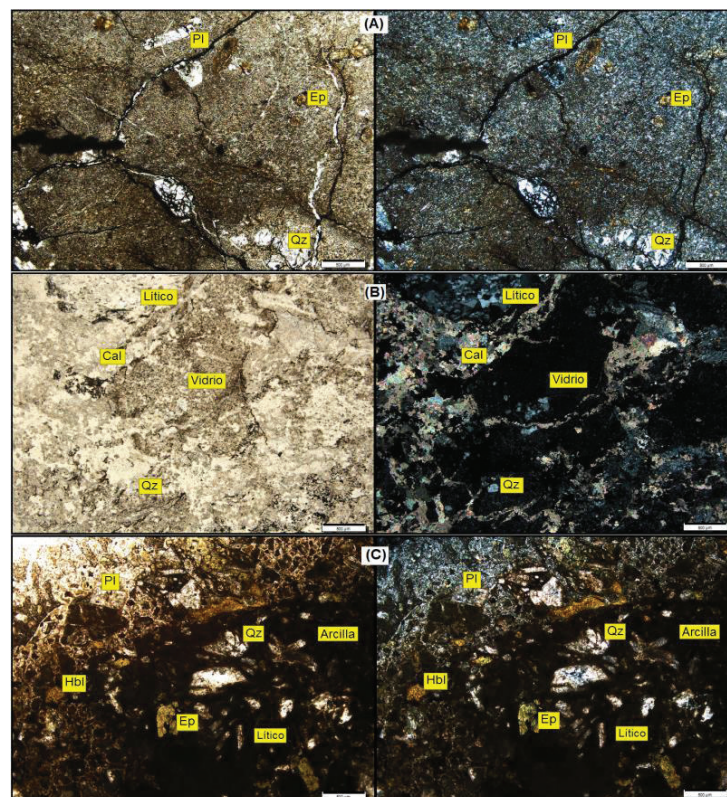


Figura 3.6 Láminas delgadas, Formación Loma Blanca

(A) **TS-02** Andesita (UTM:687315 / 9536181)

(B) **TS-09** Brecha(UTM: 687675 / 9537650)

(C) **TS-24** Brecha(UTM: 689870 / 9534099)

Una muestra de la formación estudiada en microscopio (TS-02), presenta microtexturaporfirítica – traquítica y microestructura masiva. Esta andesita está constituida por plagioclasa – andesina y una matriz con microcristales de plagioclasa. Se tiene arcilla, cuarzo secundario, epidota y opacos que forman vetillas muy finas y atraviesan la roca. El cuarzo secundario se concentra en cumulos. (Figura 3.6A).

Dos muestras representativas de la formación en su estudio microscópico (TS-09, TS-24), presentanmicrotexturaepiclástica – brechosa y microestructura masiva. Los líticos que forman estas brechas están constituidos por plagioclasa, hornblenda y una matriz con microcristales de plagioclasa y vidrio. Se tiene cuarzo y calcita secundarios y opacos que forman una masa amorfa roja. Se aprecia que fueron rocas piroclásticas que se fracturaron y la calcita rellenó los espacios y sirvió de cemento entre fragmentos de la roca original. Los líticos subredondeados de composición ácida están atravesados por la calcita, lo que denota que se dio un retrabajamiento posterior (Figura 3.6B, C).

Fuera de la zona estudiada en la vía Malacatos – Purunuma, al oeste del puente del Río Solanda, se tienen intercalaciones sedimentarias en la parte baja de que incluyen horizontes de tufitas grises y blancas con espesores métricos, además de flujos de lava de composición intermedia, estos sedimentos se los incluyen en el miembro Solanda. Los afloramientos de pórfidos, al oeste del Río Solanda, se incluyen en el miembro Purunuma Cuarzo Porfirítico.

Relación estratigráfica y potencia.- La Formación Loma Blanca constituye parte del basamento ígneo del área de estudio, está cubriendo discordantemente la Unidad Chigüinda. Respecto a las sobreyacentes formaciones sedimentarias San José y Santo Domingo tiene contacto discordante y fallado en diferentes sitios.

Se estima una potencia aproximada de 1.000 m basados variaciones de altura en el sector de Loma Blanca.

Edad.- Se han considerado las dataciones radiométricas con trazas de fisión (ZFT) realizadas por Hungerbühler y otros (2002) para determinar una edad entre 40.6 ± 5.4 y 26.6 ± 4.0 Ma (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Dataciones, Formación Loma Blanca.
(Hungerbühler y otros, 2002)

Muestra	UTM X	UTM Y	Localización	Edad (Ma)
DH 233	686934	9536734	Loma Cochasquí	33.4 ± 3.6
DH 314	685650	9537836	Río Solanda	33.0 ± 3.2
DH 343	686011	9536670	Río Solanda - Miembro Solanda	36.5 ± 4.4
DH 344	685742	9537783	Río Solanda	26.6 ± 4.0

3.1.1.4 Formación Quinara

Kennerley (1973), Kennerley y Almeida (1975) la incluyen en la Formación Loma Blanca. Fue correlacionada con la parte joven de la Formación Saraguro (Hungerbühler, 1997) e incluida por Baldock (1982) en el Grupo Saraguro. Definida por Hungerbühler (1997) toma el nombre de la población de Quinara, ubicada al sur de Vilcabamba. Se la interpreta como el remanente de un evento volcánico local (Hungerbühler y otros, 2002).



Figura 3.7 Formación Quinara
Vía Quinara – Tumianuma (UTM: 694236 / 9523679)

Distribución y localidad tipo.- La formación está distribuida al suroeste de la cuenca Malacatos – Vilcabamba, entre Tumianuma y Quinara (Figura 3.7). Está expuesta al sur de Vilcabamba a lo largo de la vía a Masanamaca y entre el Cerro Collona y Loma Yamalacapo, en pequeños caminos paralelos a la cuenca. Hungerbühler (1997) considera como localidad tipo la parte baja de la Loma Peña Cerrada (694400 / 9523416). En la zona de estudio no se han observado afloramientos, pero se incluye su descripción debido a que es parte del basamento ígneo de la cuenca.

Litología.- Se observó que la formación está formada por rocas piroclásticas pseudoestratificadas ácidas de color amarillo blancuzco (tobas vítreas), con clastos volcánicos de composición intermedia – ácida de entre 3 y 20 cm. Se tiene un predominio de tufitas y tobas ricas en vidrio, en su mayoría ignimbritas de color rojo. En algunos sitios las tobas son ricas en clastos metamórficos y están intercaladas con brechas volcánicas de piroclastos re trabajados.

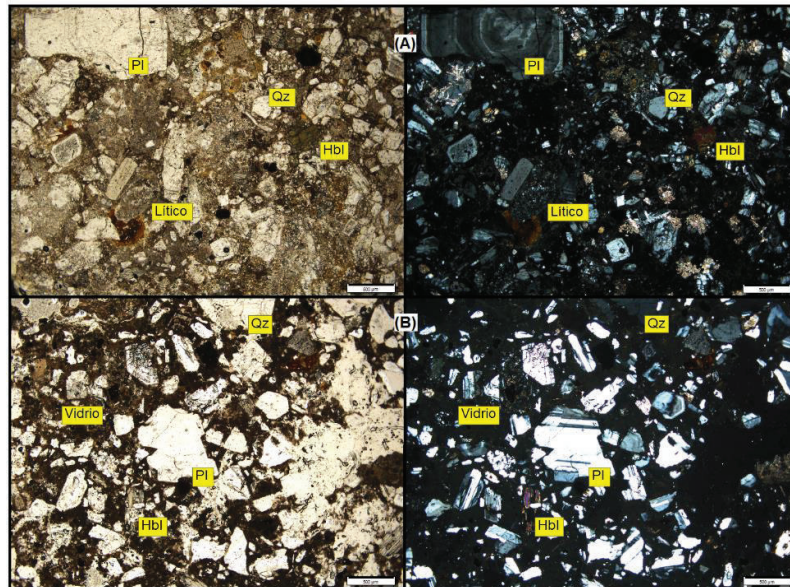


Figura 3.8 Láminas delgadas, Formación Quinara
 (A) AF-1 Toba vítrea (UTM:697151 / 9526586)
 (B) AF-2 Toba vítrea (UTM: 693179 / 9524165)

Muestras representativas de la formación, en su estudio microscópico, presentan microtextura piroclástica y microestructura masiva. Están constituidas por plagioclasa, cuarzo, hornblenda y una matriz vítrea. Tiene arcilla y calcita como minerales secundarios. Se observan líticos volcánicos subredondeados, pero de forma aislada. Existe cierta fluidez pero esta no es común. (Figura 3.8).

Relación estratigráfica y potencia.- La Formación Quinara es parte del basamento ígneo de la cuenca Malacatos – Vilcabamba. Respecto a la Unidades Chigüinda y Tres Lagunas tiene contacto discordante. Subyace discordantemente a la Formación Cerro Mandango.

Se estima una potencia aproximada de 200 m basados en variaciones de altura.

Edad.- Se han considerado las dataciones radiométricas con trazas de fisión (ZFT) realizadas por Hungerbühler y otros (2002) que determinaron una edad entre 15.1 ± 1.6 y 14.2 ± 3.4 Ma (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Dataciones, Formación Quinara
(Hungerbühler y otros, 2002)

Muestra	UTM X	UTM Y	Localización	Edad (Ma)
DH 291	697227	9526406	Quebrada Asquiluma	14.2 ± 3.4
MS 230	694399	9523418	Loma Peña Cerrada	14.9 ± 1.6
MS 228	694399	9523418	Loma Peña Cerrada	15.1 ± 1.6

3.1.2 LITOESTRATIGRAFÍA DEL NEÓGENO

3.1.2.1 Formación San José

Constituye la secuencia basal del relleno sedimentario de la cuenca Malacatos – Vilcabamba. Kennerley (1973) la denomina Formación Algarrobbillo y la mapea exclusivamente al margen noroccidental de la cuenca. Kennerley y Almeida (1975) la relacionan con la cuenca de Loja renombrándola como Formación Trigal e I.I.C (1985) la denominó unidad Tm–p1. Finalmente, Hungerbühler (1997) da el nombre actual, la redefine y determina nuevos límites cartográficos en base a dataciones radiométricas y criterios litoestratigráficos. La actual Formación San José equivale a la parte baja de la antes conocida como Formación Algarrobbillo.

Distribución y localidades estratotipo e hipoestratotipo.- La formación está distribuida en los dos bloques, noroccidental y La Granja (Figura 3.9). La localidad estratotipo propuesta por Hungerbühler (1997) está en las cercanías de San José (688400 / 9536636), en el bloque noroccidental.

En el bloque La Granja la formación aflora en una franja NE – SW al oriente la cuenca, entre El Sauce y La Granja. La localidad hipoestratotipo propuesta en este trabajo está en la vía Loja – Malacatos (695984 / 9534245).

El hipoestratotipo o sección de referencia auxiliar se considera un estratotipo designado para extender, a otras áreas geográficas o a otras facies, el conocimiento de la unidad o límite estratigráfico, previamente establecido por medio de un estratotipo determinado (Vera, 1994).

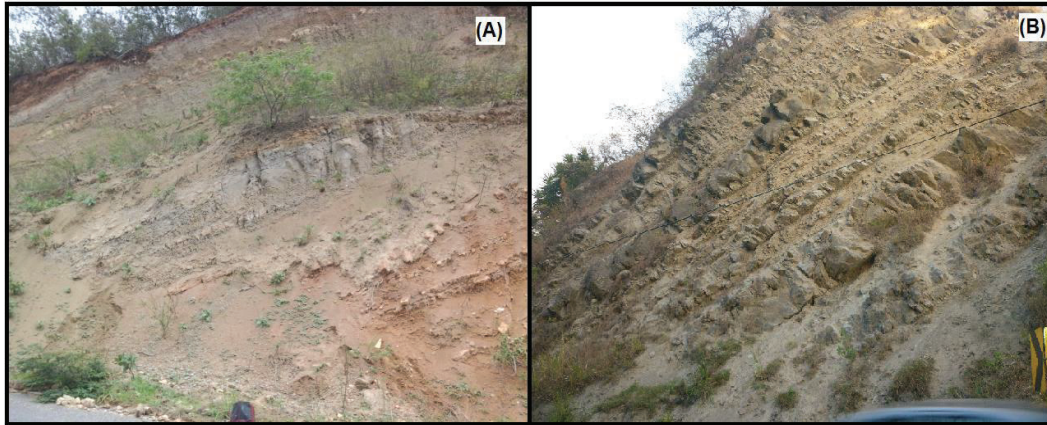


Figura 3.9 Formación San José

(A) Estratotipo – Bloque noroccidental. Vía Malacatos – Catamayo (UTM: 688296 / 9536758)
 (B) Hipoestratotipo – Bloque La Granja. Vía Loja – Malacatos (UTM: 695984 / 9534245)

Litología y estratigrafía.-Se observan diferencias litológicas en la formación para ambos bloques:

Bloque noroccidental

En Loma Cochasquí, Sector San José, mediante afloramientos dispersos se observó que la formación en la base incluye lutitas, conglomerados masivos con clastos volcánicos (TS-03A), areniscas y estratos de limos con nódulos calcáreos (TS-03B). En la parte media se tiene secuencias de lutitas con abundantes venas de yeso fibroso secundario y restos vegetales y raíces, calizas packstone (TS-10A, TS-26), wackestone (TS-10C), mudstone (TS-10B) y grainstone (TS-10D) donde es común la presencia de ostrácodos, gasterópodos, bivalvos y foraminíferos bentónicos (B. Martínez, comunicación personal). Intercaladas entre las secuencias se tiene brechas bioclásticas, lechos de grava con líticos volcánicos, lutitas bioturbadas no fosilíferas en forma de discos y concreciones calcáreas. A techo se tiene conglomerados masivos con clastos andesíticos (TS-04). Se observa intercalaciones de depósitos tobáceos a lo largo de toda la formación, además de diques andesíticos.

Varias muestras representativas de la formación en su estudio microscópico (TS-10A, TS-10C, TS-26), presentan microtexturagranuda y microestructura depositacional, están constituidas por bioclastos (ostrácodos, bivalvos, gasterópodos) con relleno geopetal, el cemento es esparítico fibroso acicular, cristalino y la matriz es micrítica (Figura 3.10).

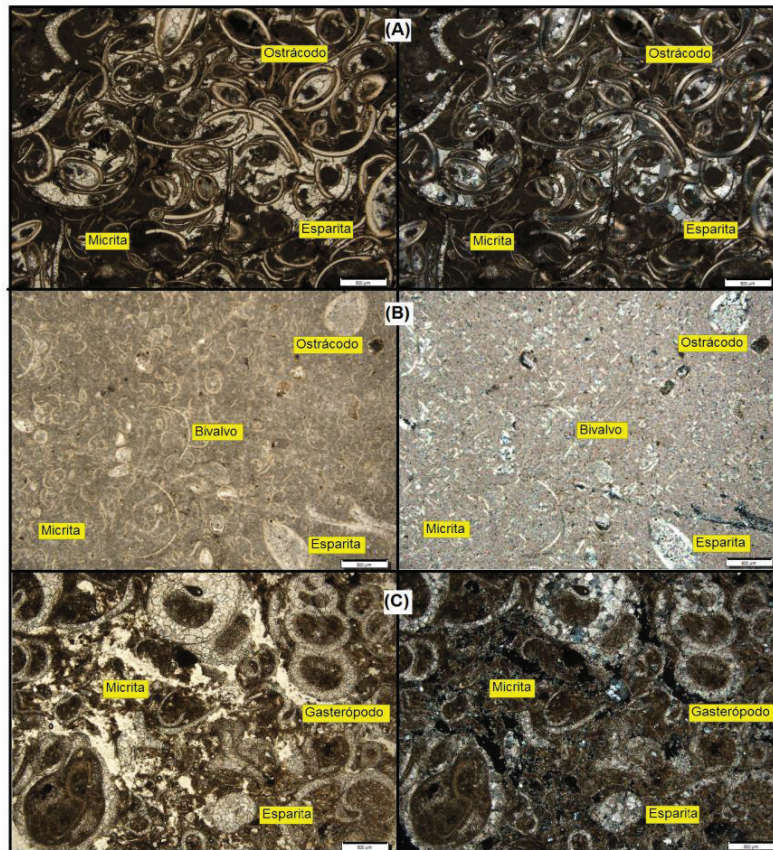


Figura 3.10 Láminas delgadas, Formación San José / Bloque noroccidental
 (A) **TS-10A** Ostracodita – packstone (UTM: 688082 / 9536994)
 (B) **TS-10C** Mudstone – wackestone (UTM: 688082 / 9536994)
 (C) **TS-26** Gasteropodita – packstone (UTM: 688296 / 9536758)

Bloque nororiental (La Granja)

El hipoestratotipo en la vía Loja – Malacatos está constituido por afloramientos dispersos; en la parte baja de la formación se observan intercalaciones de arcosas (TS-11A), limolitas (TS-11B), grawacas feldespáticas (TS-11C) y brechas volcánicas con matriz litarenítica (TS-11D). La parte media tiene intercalaciones de areniscas y conglomerados de espesores métricos. A tope se observa secuencias de lutitas, areniscas y estratos menores de conglomerados. El principal aporte es metamórfico aunque se observan líticos volcánicos.

Muestras representativas de la formación en su estudio microscópico (TS-11A, TS-11B), presentan microtextura clástica y microestructura depositacional, están

constituidas por feldespato, plagioclasa y cuarzo, la matriz es arcillosa. Se observan estratificación, bioturbación y estructuras sedimentarias (Figura 3.11).

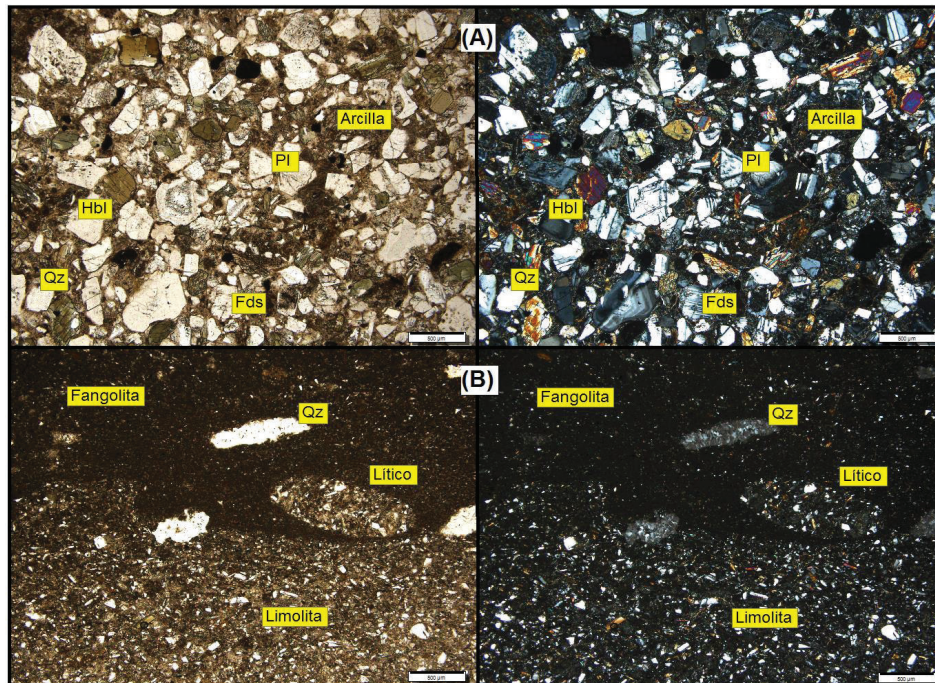


Figura 3.11 Láminas delgadas, Formación San José / Bloque nororiental
 (A) **TS-11A** Arcosa (UTM: 695984 / 9534245)
 (B) **TS-11B** Lutita (UTM: 695984 / 9534245)

Relación estratigráfica y potencia.- La Formación San José, en el bloque noroccidental, tiene contacto discordante y fallado con la subyacente Formación Loma Blanca; se infiere contacto transicional cíclico – gradual con la sobreyacente Formación Santo Domingo.

En el bloque La Granja, se infiere contacto concordante con la Formación Santo Domingo y se tiene contacto fallado con la Formación San Francisco.

En el bloque noroccidental la formación tiene un espesor de 150 m aproximadamente, mientras que en el bloque La Granja el espesor es de 200 m.

Fósiles.- La formación tiene fauna diversa (Tabla 3.4), que consiste en foraminíferos, ostrácodos, bivalvos y gasterópodos observados en las jornadas de campo, además de escafópodos, carofitas, dientes y huesos de peces reportados por Kennerley (1973) y Hungerbühler (1997).

Tabla 3.4 Fósiles, Formación San José

Nombre	Fósil	Familia	Referencia
<i>Trochaminita irregularis</i>	Foraminífero	-	Hungerbühler y otros (2002)
<i>Quinqueloculina</i> sp. aff. <i>seminulum</i>			Hungerbühler y otros (2002)
<i>Anomalina</i> cf. <i>grosserugosa</i> ⁺			Martínez, B. (com. pers.)
<i>Rotaliidae</i> indet. ⁺			Martínez, B. (com. pers.)
<i>Charophytenucleus</i>	Ostrácodo	Cyprididae	Hungerbühler y otros (2002)
<i>Cypridopsis tamboensis</i>			Hungerbühler y otros (2002)
<i>Bradleystrandesia serena</i>			Hungerbühler y otros (2002)
<i>Candonaharrisi</i>			Hungerbühler y otros (2002)
<i>Cypridid</i> spp.			Hungerbühler y otros (2002)
<i>Cyprideis stephensoni</i> [*]		Cytherideidae	Kennerley (1973)
<i>Cyprideis malacatensis</i>			Hungerbühler y otros (2002)
<i>Cyprideis</i> spp. ⁺			Martínez, B. (com. pers.)
<i>Cyprideis</i> sp. aff. <i>Schedogymnos</i>			Hungerbühler y otros (2002)
<i>Heterocypris</i> sp. ⁺			Martínez, B. (com. pers.)
<i>Vetustocytheridea splendens</i>	Hungerbühler y otros (2002)		

Edad.- Para el presente trabajo se ha considerado los datos de Kennerley (1973), quien determinó que la formación era del Mioceno a través de datos paleontológicos y las dataciones radiométricas en trazas de fisión ZFT de Hungerbühler (1997), quien determinó la edad de entre 13.5 ± 1.2 Ma y 13.1 ± 1.8 Ma (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Dataciones radiométricas (ZFT), Formación San José (Hungerbühler y otros, 2002)

Muestra	UTM X	UTM Y	Localización	Bloque	Edad (Ma)	Edad de depositación
DH 232	688414	9536363	San José	Noroccidental	13.5 ± 1.2	-
MS 250	695997	9534380	Suroeste de Landangui	La Granja	14.6 ± 2.2	13.1 ± 1.8

3.1.2.2 Formación Santo Domingo

Constituye la secuencia media – baja del relleno sedimentario de la cuenca Malacatos – Vilcabamba. Kennerley (1973) la denomina Formación Cabalera. Kennerley y Almeida (1975) la relacionan con la cuenca de Loja renombrándola como Formación San Cayetano, I.I.C (1985) la denominó unidad Tm.p2–Tm.p2c y Tm–p3. Hungerbühler (1997) da el nombre actual a la formación, la redefine y determina nuevos límites cartográficos en base a dataciones radiométricas (ZFT) y criterios litoestratigráficos, además de subdividirla en dos miembros, *Yeso* y *Carbón*.

La actual Formación Santo Domingo equivale a la Formación Cabalera y a la parte alta de la antes conocida como Formación Algarrobligo.

Distribución y localidades estratotipo.- La formación está distribuida en los dos bloques, noroccidental y La Granja. La localidad estratotipo propuesta por Hungerbühler y otros (2002) se ubica en la quebrada Santo Domingo (689750 / 9537386).

La formación cubre gran parte del bloque noroccidental de la cuenca y se la observa en la vía Malacatos – Catamayo, desde Ceibopamba hasta La Era (Figura 3.12). En el bloque La Granja la formación aflora en una estrecha franja NE – SW al oriente la cuenca, entre El Sauce y El Belén

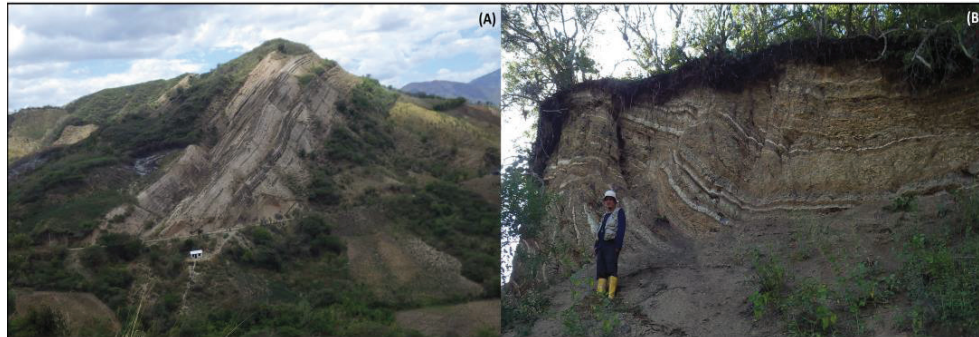


Figura 3.12 Formación Santo Domingo
 (A) Bloque noroccidental – Loma Sotahuaycu, Vía Malacatos – Catamayo (UTM: 689150 / 9540632)
 (B) Bloque La Granja, Vía El Belén – La Granja (UTM: 694661 / 9536018)

Litología y estratigrafía.- Para el estudio litológico y sedimentológico de la formación se ha dividido su revisión en los dos bloques:

Bloque noroccidental

En este bloque se puede observar la formación con sus dos miembros. En la parte baja de la formación, miembro inferior Yeso, se tiene secuencias dominadas por lutitas – fangolitas de color marrón oscuro – “chocolate”(TS–16) que alternan cíclicamente con limos de coloración más clara (TS–15), ocasionalmente bioturbadas y con restos vegetales y raíces. Se observan intercalaciones muy esporádicas de areniscas de grano medio a grueso y conglomerados. Es característica una pátina de azufre, dando una coloración amarillenta al exterior de las rocas a lo largo de toda la formación (Figura 3.13).



Figura 3.13 Miembro Yeso – Formación Santo Domingo
Vía Malacatos – Catamayo, Sector Quebrada Cobalera (UTM: 688766 / 9538134)

En este miembro aparecen capas de yeso primario, nódulos lutíticos, carbonatados y de yeso. Es común que los nódulos de carbonato presenten envolturas de yeso fibroso. Se observan vetillas de yeso, dispuestas de manera subhorizontal a la estratificación u oblicua siguiendo planos de fracturación preferentes, estas aparecen a lo largo de toda la formación (Corrochano, 2014).

Dos muestras representativas de la formación en su estudio microscópico (TS–15, TS–16), presentan microtextura clástica / lutítica y microestructura depositacional. Estas lutitas están constituidas por cuarzo y plagioclasa, la matriz es limosa – arcillosa (Figura 3.14).

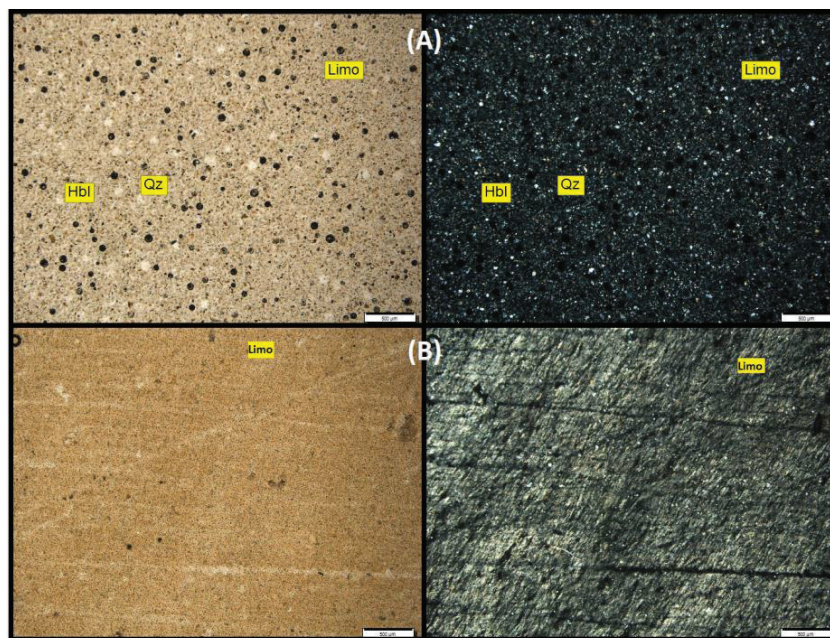


Figura 3.14 Láminas delgadas, Formación Santo Domingo / Bloque noroccidental
(A) **TS–15** Lutita – fangolita (UTM: 689409 / 9542528)
(B) **TS–16** Lutita – fangolita (UTM: 689079 / 9541406)

En la parte media se tiene el miembro Carbón, este inicia con capas de carbón lateralmente continuas (Figura 3.12A). Se caracteriza por capas de carbón, de 2 cm hasta 3 m, intercaladas con secuencias de lutitas “chocolate”. Se tiene, además, limos de color marrón amarillento, areniscas, conglomerados y estratos calcáreos, pero estos están dispersos y no son representativos. Muchos estratos tienen restos vegetales y bioturbación animal. Las areniscas canaliformes y areniscas bituminosas se exhiben en estratos tabulares que no superan los 15 cm de espesor.

Las lutitas presentan laminación paralela, ondulante, ripples de corriente y de oscilación. Las areniscas suelen ser cuerpos tabulares de base y techo plano. Se observa, en las areniscas canaliformes, estratificación cruzada en surco. Los conglomerados tienen bases erosivas, buena clasificación y aporte volcánico y metamórfico.

Putzer (1985) estimó reservas de carbón cercanas a los 3,3 millones de toneladas en la cuenca y lo clasificó en el rango de los bituminosos C con alto contenido de volátiles (clasificación ASTM). Corrochano (2014) clasifica al carbón como subbituminoso B (bajo poder calorífico y alto contenido en volátiles) confirmando la baja calidad (rango bajo) y el escaso interés económico.

El miembro superior Yeso, aparece de forma gradual respecto al miembro Carbón y se inicia luego de la última capa de carbón lateralmente continua. Se caracteriza por estratos de yeso, tanto primario como secundario, intercalados con lutitas “chocolate”, limolitas y areniscas.

Las limolitas presentan ripples de oscilación simétricos con cresta redondeada y bifurcada. El yeso se presenta masivo translúcido y blanquecino, en roseta, columnar, prismático o fibroso (Corrochano, 2014). Este miembro ha sido explotado, de manera artesanal, en varias minas. Actualmente no se realizan mayores labores mineras, debido a dificultades técnicas y económicas para la explotación.

Se observan intercalaciones de estratos volcánico – sedimentarios, pumitas y tufitas, que incrementan su espesor de forma gradual, mientras se da el tránsito a la Formación San Francisco.

Bloque nororiental (La Granja)

En la vía El Sauce – Belén – La Granja, se observó que aflora únicamente el miembro Yeso (Figura 3.12B). La secuencia está dominada por lutitas “chocolate” que alternan cíclicamente con limos blanquecinos y estratos de areniscas de grano fino a grueso; se observan restos vegetales y raíces. Los estratos no superan el metro de espesor a diferencia de lo que ocurre en el bloque noroccidental y es recurrente la pátina de azufre, al igual que en resto de la formación. Pueden observarse capas de yeso primario, nódulos lutíticos, carbonatados y de yeso, pero estos no alcanzan las dimensiones observadas en el otro bloque.

En la carretera Malacatos – San Pedro de Vilcabamba, sector de Cararango (696221 / 9531953) se observa un afloramiento donde se tienen secuencias de lutitas “chocolate” y limos blanquecinos.

Relación estratigráfica y potencia.- La Formación Santo Domingo, en el bloque noroccidental, descansa discordantemente sobre la Formación Loma Blanca y tiene contacto fallado con la unidad Huayco. Se infiere contacto transicional cíclico – gradual con la subyacente Formación San José. Respecto a la sobreyacente formación San Francisco, tiene contacto fallado y se infiere contacto concordante en varias zonas.

En el bloque La Granja, se infiere contacto concordante respecto a las formaciones sub y sobreyacente, San José y San Francisco, respectivamente.

En el bloque noroccidental la formación tiene un espesor de 600 m aproximadamente, mientras que en el bloque La Granja el espesor es de 200 m.

Fósiles.- En la formación no presenta gran variedad de flora y fauna. Putzer (1985) reporta esporas y polen, con esta información correlaciona las capas de carbón con las observadas en las cuencas de Loja y Cuenca. I.I.C (1985) reporta

gasterópodos continentales del tipo hidrobía y planorbis. Hungerbühler (1997) reporta camarones, dientes de peces y vegetación de clima tropical, estos dos últimos observados en las jornadas de campo.

Edad.- Para el presente trabajo se ha considerado los datos presentados por Putzer(1985) quien determinó, a través del estudio de polen y esporas, que la formación era del Mioceno y las dataciones radiométricas en trazas de fisión ZFT de Hungerbühler (1997) quien determinó una edad de entre 12.0 ± 1.2 Ma y 14.8 ± 5.4 Ma (Tabla 3.6).

Tabla 3.6 Dataciones radiométricas (ZFT), Formación Santo Domingo (Hungerbühler, 1997)

Muestra	UTM X	UTM Y	Localización	Bloque	Edad (Ma)
DH 228	689586	9536299	Quebrada Paltón	Noroccidental	14.5 ± 1.6
DH 229	689554	9535746	Quebrada Paltón	Noroccidental	14.6 ± 1.8
DH 317	696095	9532017	Cararango	La Granja	12.3 ± 1.6
MS 245	689633	9541606	Quebrada La Merced	Noroccidental	$14.8 \pm 5,4$
MS 252	694674	9536072	El Belén	La Granja	14.6 ± 1.6
MS 255	695398	9535821	El Belén	La Granja	12.0 ± 1.2

3.1.2.3 Formación San Francisco

Constituye la secuencia media – alta del relleno sedimentario de la cuenca Malacatos – Vilcabamba. Kennerley (1973) la denomina Formación Cerro Mandango. Kennerley y Almeida (1975) la relacionan con la cuenca de Loja renombrándola como Formación Quillollaco, I.I.C (1985) la denominó unidad TP y Hungerbühler (1997) la incluye dentro de la Formación Cerro Mandango como miembro Arenisca. Corrochano (2014) considerando las dataciones radiométricas en trazas de fisión (ZFT) realizadas por Hungerbühler (1997) y criterios cartográficos, litoestratigráficos y sedimentológicos reconsidera lo propuesto y le da el rango de formación. INIGEMM (en preparación) determina los límites cartográficos en base a los criterios antes expuestos.

Distribución y localidades estratotipo e hipoestratotipo.- Para la zona de estudio la formación está distribuida en los dos bloques, noroccidental y La Granja (Figura 3.15). La localidad estratotipo propuesta por Corrochano (2014) aflora en la parte alta de la quebrada Santo Domingo (689942 / 9536964).

La formación abarca el centro norte del bloque noroccidental. En el bloque La Granja aflora al norte entre El Carmen y San Francisco y al oriente en el sector de El Prado. La localidad tipo, propuesta en este trabajo, está en la vía El Carmen – El Belén (694661 / 9536018).



Figura 3.15 Formación San Francisco

(A) Bloque noroccidental – Urbanización Vista Bella (UTM: 690435 / 935090)

(B) Bloque La Granja, Vía El Carmen – El Belén (UTM: 696075 / 9535463)

Litología y estratigrafía.- Para el estudio litológico y sedimentológico de la formación se ha dividido su revisión en los dos bloques:

Bloque noroccidental

En el centro norte del bloque y a lo largo de la vía Malacatos – Catamayo, entre Malacatos y Ceibopamba, se observó que la formación en la base presenta intercalaciones de estratos volcánico – sedimentarios, arcosas líticas (TS–01, TS–12), pumitas, tufitas y conglomerados clasto soportados. En la urbanización Vista Bella (Figura 3.15A), paraestratipo propuesto por Corrochano (2014), se tiene calcarenitas oolíticas fosilíferas (TS–05A, B) intercaladas con areniscas – arcosas y limolitas.

La secuencia continúa con limos, sublitareanitas (TS–12) y areniscas de tonalidad gris – azulada, bien clasificada y de grano fino, intercaladas con lutitas marrones. Se tiene intercalaciones canaliformes de areniscas marrones, de tamaño de grano grueso a medio. Una característica importante es la presencia de una costra de alteración endurecida de color azulado.

A tope se observan intercalaciones de limolitas (TS–23), areniscas marrones y estratos de conglomerados clasto soportado, con base erosiva, que aumentan

gradualmente hacia el contacto con la formación Cerro Mandango. Se observan intercalaciones de yeso fibroso secundario, dispuestas de forma paralela u oblicua a la estratificación.

Las areniscas y limos de tonalidad azulada, presentan ripples de corriente, de oscilación, restos vegetales, burrows verticales y estratificación cruzada en surco de hasta 3 m de espesor con guijarros y gránulos en la base de las láminas. En general tienen base erosiva y lags de líticos en la base.

Las lutitas marrones presentan laminación paralela e intensa bioturbación. Las intercalaciones canaliformes de areniscas de color marrón tienen estratificación cruzada en surco, granoselección positiva, de tamaño de grano grueso a medio.

En el paraestratotipo, se han identificado numerosas ocurrencias de ripples de oscilación simétricos en capas tabulares de areniscas de grano fino marrones de 10 – 15 cm de espesor, estratificaciones cruzadas en surco a gran escala, presencia de mudrapes en estas estructuras, superficies de reactivación, grietas de desecación, lutitas y limolitas con laminación horizontal con abundante fauna y caliches carbonatados a techo de las areniscas (Corrochano, 2014).

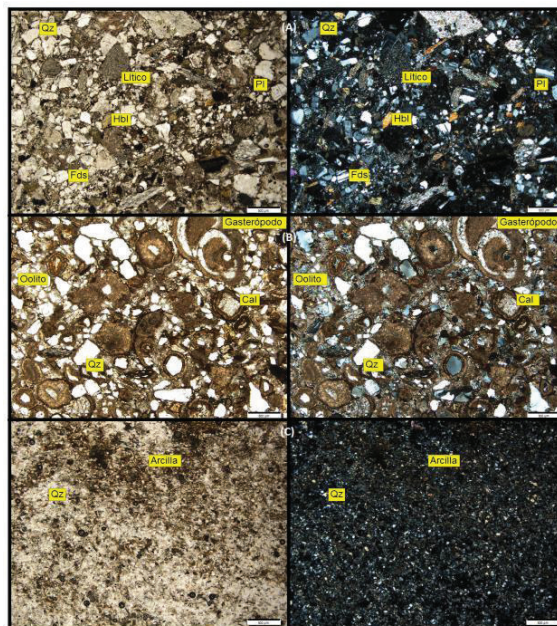


Figura 3.16 Láminas delgadas, Formación San Francisco/ Bloque noroccidental.
 (A) **TS-01** Arcosa lítica (UTM: 689728 / 9537070).
 (B) **TS-05A** Calcarenita oolítica (UTM: 690435 / 935090).
 (C) **TS-23** Limolita (UTM: 693683 / 9537036).

Muestras representativas de la formación (TS-01, TS-23) en su estudio microscópico presentan microtexturaclástica y microestructura depositacional, están constituidas por cristales de plagioclasa, feldespato, hornblenda y cuarzo, tienen líticos metamórficos y presentan matriz arcillosa. Se tiene un ejemplo (TS-05A) con microtexturagranuda y microestructura diagenética, presenta bioclastos (gasterópodos) y oolitos con relleno geopetal, el cemento es esparítico y silíceo (Figura 3.16).

Bloque nororiental (La Granja)

Para este bloque, en el hipoestratotipo, la formación presenta a la base secuencias grano y estratocrecientes de alternancias de areniscas y limos de color marrón a gris – azulado, que a techo presentan intercalaciones canaliformes de areniscas y conglomerados con bases erosivas. Los cuerpos canaliformes están formados por litarenitas y sublitarenitas metamórficas de grano medio a grueso, clasificación pobre, con intercalaciones conglomeráticas, ordenadas en secuencias positivas, que presentan estratificación cruzada en cuña de tipo sigmoidal, en surco o planar. Las areniscas, al igual que en las alternancias, pueden presentar cemento esparítico con abundantes golfos de corrosión (Corrochano, 2014).

En la parte media – alta se tiene un predominio de alternancias de limolitas, areniscas de grano medio a grueso (TS-14A, B, TS-18, TS-20), microconglomerados con cemento esparítico. Esta sección aflora también entre El Prado y Cararango.

En El Belén (695218 / 9536398), parte alta de la formación, se aprecian alternancias de limolitas, intercalaciones canaliformes de areniscas (TS-21, TS-22, TS-25) y paraconglomerados con bases erosivas. Los cuerpos canaliformes están formados por limos que en la base tienen nódulos calcáreos alineados con espesores variables.

Se han observado numerosas estructuras sedimentarias, como ripples de corriente, de oleaje, laminación paralela, ondulante, restos vegetales, estructuras de carga, laminación convoluta y flamas. Es común la presencia de pequeños

deslizamientos sinsedimentarios en la formación. Estos deslizamientos se encuentran claramente diferenciados (y fosilizados) en la vertical por facies no deformadas. Los niveles deslizados no suelen superar los 2 m de espesor (Corrochano, 2014).

Muestras representativas de la formación, tomadas en diferentes zonas del bloque, en su estudio microscópico presentan microtextura clástica y microestructura depositacional, están constituidas por cristales de cuarzo, plagioclasa y hornblenda, tienen líticos metamórficos y presentan cemento esparfítico (Figura 3.17).

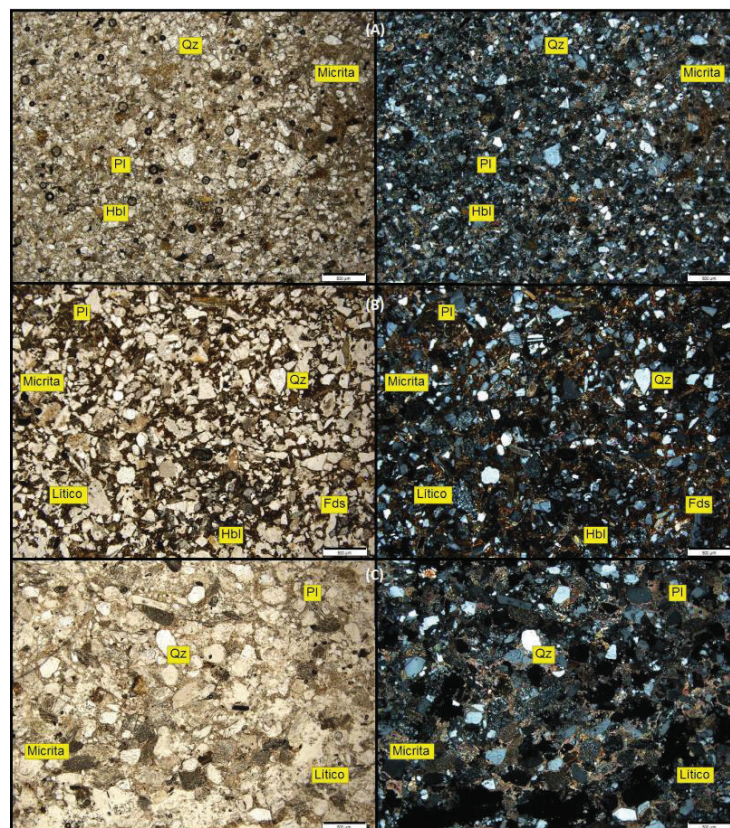


Figura 3.17 Láminas delgadas, Formación San Francisco/ Bloque nororiental
 (A) **TS-14A** Calcarenita (UTM: 695971 / 9535470)
 (B) **TS-20** Calcarenita (UTM: 696624 / 932377)
 (C) **TS-22** Calcarenita (UTM: 694955 / 9536526)

Relación estratigráfica y potencia.- La formación San Francisco, en el bloque noroccidental, presenta contacto fallado respecto a la Unidad Tres Lagunas. Respecto a la subyacente Santo Domingo tiene contacto fallado y se infiere contacto concordante en varias zonas. El tránsito hacia la Formación Cerro

Mandango es gradual y se observa gracias al cambio de areniscas azuladas a marrones y conglomerados con contacto concordante. Depósitos coluviales descansan con discordancia angular sobre la formación.

En el bloque La Granja, tiene contacto fallado respecto a las unidades Tres Lagunas, Chigüinda y la formación San José (sector La Granja). Se infiere contacto concordante respecto a la formación subyacente Santo Domingo. Se observa una clara discordancia angular respecto a la Formación Cerro Mandango, que se aprecia al sur de la zona estudiada.

En el bloque noroccidental la formación tiene un espesor de 300 m aproximadamente, mientras que en el bloque La Granja el espesor es de 250 m.

Fósiles.- Previamente no se han reportado fósiles. Para el presente trabajo se recolectaron muestras con diversos fósiles (foraminíferos, ostrácodos, bivalvos y gasterópodos), estos serán reportados con mayor detalle en el estudio paleontológico en preparación de Martínez y otros (Tabla 3.7).

Tabla 3.7 Fósiles Formación San Francisco
(Martínez y otros, en preparación)

Nombre	Fósil	Familia
<i>Bathysiphon</i> sp.	Foraminífero	-
<i>Haplophragmoides</i> ? sp.		
<i>Reophax</i> cf. <i>Fusiformis</i>		
<i>Anomalina</i> cf. <i>grosserugosa</i>		
<i>Rotaliidae</i> indet.		
<i>Cyprideis</i> spp.	Ostrácodo	Cyprididae
<i>Cypridopsis</i> ? sp. 1		

Edad.- Para el presente trabajo se ha considerado las dataciones radiométricas en trazas de fisión ZFT de Hungerbühler (1997), quien determinó la edad de entre 12.6 ± 2.6 Ma y 11.2 ± 1.2 Ma (Tabla 3.8).

Tabla 3.8 Dataciones radiométricas (ZFT), Formación San Francisco
(Hungerbühler y otros, 2002)

Muestra	UTM X	UTM Y	Localización	Bloque	Edad (Ma)
DH 373	690457	9540032	Q. Naranja Dulce	Noroccidental	11.2 ± 1.2
MS 248	694990	9531521	Loma Tuco	La Granja	11.2 ± 2.2
MS 253	693203	9537420	San Francisco	Noroccidental	12.6 ± 2.6

3.1.2.4 Formación Cerro Mandango

Constituye la secuencia alta del relleno sedimentario de la cuenca Malacatos – Vilcabamba. Kennerley (1973) la denomina Formación Cerro Mandango. Kennerley y Almeida (1975) la relacionan con la cuenca de Loja renombrándola Formación Quillollaco, I.I.C (1985) la denominó unidad TP. Hungerbühler (1997) retoma el nombre, la redefine y determina nuevos límites cartográficos en base a dataciones radiométricas (ZFT) y criterios litoestratigráficos, además de subdividirla en dos miembros, *Arenisca* y *Conglomerado*. Corrochano (2014) reconsidera la subdivisión, planteando como Formación San Francisco al miembro Arenisca y dejando al miembro Conglomerado como la actual Formación Cerro Mandango.

Distribución y localidad estratotipo.- La formación se encuentra exclusivamente al centro del bloque noroccidental en afloramientos dispersos y de poco espesor (Figura 3.18). La localidad estratotipo aflora en la parte alta de la quebrada San Francisco (692636/ 9536467).



Figura 3.18 Formación Cerro Mandango
 (A) Vía San Francisco – Malacatos (UTM: 692650 / 9357564)
 (B) Altos de quebrada San Francisco (UTM: 692636 / 9536467)

Litología y estratigrafía.-La Formación Cerro Mandango se caracteriza por el predominio de ortoconglomerados masivos y pobremente clasificados, con intercalaciones de areniscas y lutitas, formando una gran secuencia granocreciente, donde es común la presencia de intercalaciones tobáceas. Estos pueden presentar bases y techos planos, además de geometrías canaliformes con superficies fuertemente erosivas. Los clastos son de origen metamórfico, de

tamaño variado, suelen ser de subangulosos a subredondeados. Las areniscas son de grano grueso y suelen presentar estratificación horizontal.

Relación estratigráfica y potencia.- Respecto a la subyacente Formación San Francisco tiene contacto concordante. Depósitos coluviales descansan con discordancia angular sobre la formación.

En el bloque noroccidental la formación no supera los 30 m.

Edad.- Hungerbühler y otros (2002) determinan edades entre 10.0 ± 1.2 y 7.7 ± 1.2 Ma con dataciones radiométricas en trazas de fisión (ZFT) realizadas al sur de la cuenca.

3.1.3 VOLCANISMO

3.1.3.1 Unidad Huayco

Definida en los trabajos llevados adelante por el INIGEMM (en preparación) para la hoja de Nambacola, escala 1:50.000, en el 2014. Kennerley (1973) y Hungerbühler (1997) la incluyen en la Formación Loma Blanca. Reyes y otros(2008) la incluye en la Formación Quinara. Toma el nombre del caserío Huayco al occidente de El Tambo.

Distribución y localidad tipo.- La unidad se observa al noroccidente de la cuenca. La localidad tipo se ubica en la vía El Tambo – La Merced (688620 / 9544568), sector La Era.

Litología.-La unidad se caracteriza por flujos aglomeráticos andesíticos, masivos de coloración amarillenta, intercalados con flujos aglomeráticos matriz soportados y flujos piroclásticos. Se observa estratos de fases volcánico – sedimentarias, de poca consolidación, con matriz arenosa y coloración variable de gris oscura a púrpura, localmente presenta brechas. Es común encontrar bloques de tamaños métricos en toda la secuencia. La unidad está atravesada por diques y cuerpos andesíticos de textura porfirítica, estructura masiva y color café violáceo (Figura 3.19). Mineralógicamente las rocas están formadas por plagioclasa, vidrio, epidota, clorita y se tiene gran cantidad de arcilla.

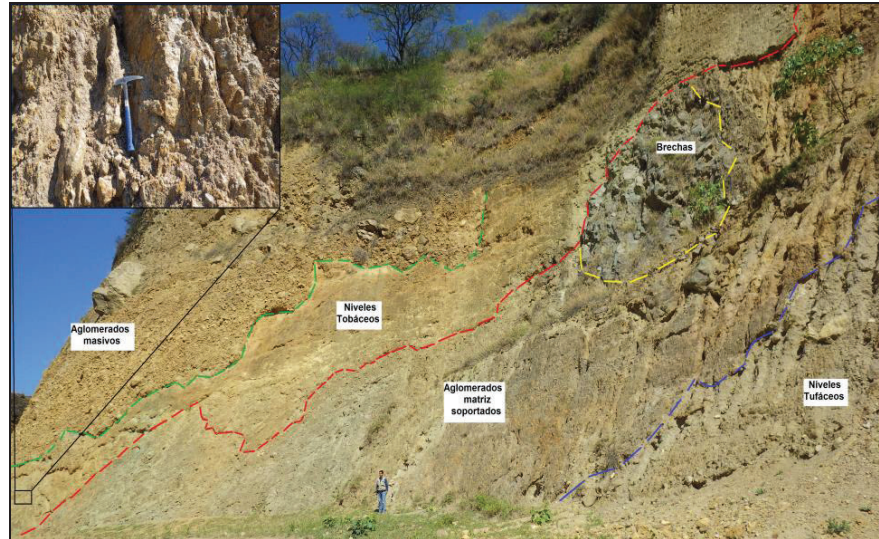


Figura 3.19 Unidad Huayco
Vía El Tambo – La Merced (688620 / 9544568)

Una muestra de la unidad estudiada en microscopio (TS–13), presenta microtextura piroclástica – fluidal – porfirítica y microestructura masiva, tiene plagioclasa y matriz con microcristales de plagioclasa y vidrio que está siendo remplazada por la arcilla. Se observan opacos, cuarzo secundario y líticos volcánicos (Figura 3.20).

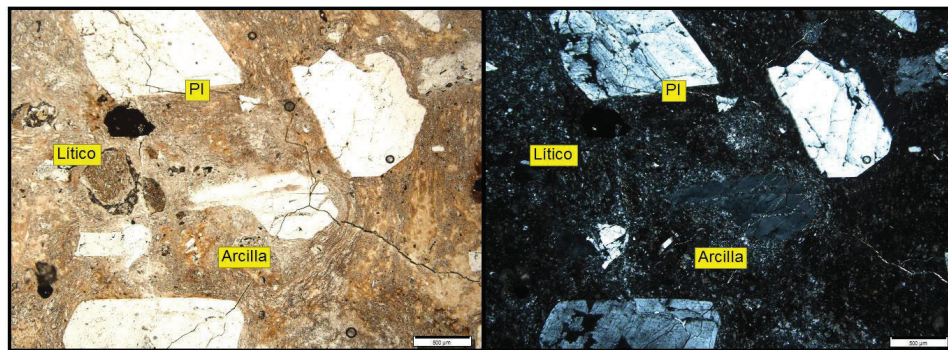


Figura 3.20 Lámina delgada. Unidad Huayco.
Muestra TS–13 Ignimbrita (UTM:688615 / 9544566)

Relación estratigráfica y potencia.- Respecto a la Unidad Tres Lagunas tiene contacto tectónico. La unidad descansa discordantemente sobre la Unidad Capilla. Respecto a Formación Santo Domingo se tiene contacto fallado.

Se estima una potencia aproximada de 400 m basados en variaciones de altura.

3.2 SEDIMENTOLOGÍA

En el presente subcapítulo se describen las facies, asociaciones de facies y los sistemas de depósito del relleno neógeno de la cuenca, analizados mediante 24 columnas estratigráficas y secciones en los bloques noroccidental y nororiental (La Granja) y el estudio de afloramientos aislados.

FACIES

Las facies sedimentarias se refieren a la suma de características de una unidad sedimentaria, estas características incluyen dimensión, estructuras sedimentarias, tipo y tamaño de grano, color y contenido biogénico de una roca sedimentaria (Nichols, 2009).

Las facies se clasifican por sus características físicas y químicas (litofacies), contenido fosilífero (biofacies) y por su contenido de fósiles traza (icnofacies). En el presente trabajo se han descrito e interpretado 30 litofacies, que se describen a continuación:

Tabla 3.9 Litofacies

Facies (Código)	Descripción	Interpretación
Gmm: Gravas masivas, matriz soportada	Conglomerado matriz soportado gradadas	Flujos de escombros plásticos.
Gcm: Gravas masivas clasto soportadas	Conglomerado clasto soportado y matriz arenosa	Flujos de escombros pseudoplásticos.
Gt: Gravas estratificadas	Conglomerado con estratificación de capas cruzadas	Relleno de canales menores
Gmg: Gravas matriz soportadas	Conglomerado matriz soportado con gradación normal a inversa	Flujo de escombros pseudoplásticos.
Sm: Arenisca masiva	Arenisca marrón, azul o grisácea de grano fino a grueso	Depósitos de sedimentos de flujos de gravedad
Sp: Arenisca	Arenisca marrón de grano fino a grueso con capas cruzadas planas	Formas transversales o lingoidales
Smc: Arenisca masiva con cemento carbonatado	Arenisca amarilla de grano fino a grueso con cemento carbonatado	Bahía de estuario, barras de desembocadura
Sh: Arenisca	Arenisca de grano muy fino a grueso con laminación horizontal	Flujos de capas planas (Flujo crítico)

Shc: Arenisca con cemento carbonatado	Arenisca de grano muy fino a grueso con cemento carbonatado y laminación horizontal	Flujos de capas planas
St: Arenisca	Arenisca de grano fino a grueso con estratificación cruzada	Dunas y crestas sinuosas y lingoidales
Srp: Areniscas con ripples de corriente	Areniscas grises o amarillas de grano fino a medio con ripples de corriente en estratos tabulares	Migración de ripples de corriente en flujos de escasa velocidad
Fc: Limo con cemento carbonatado	Niveles centimétricos y discontinuos con cemento carbonatado. Laminación paralela	Depósitos de planicie de inundación
Fsm: Limo	Limo, lodo masivo	Depósitos de canales abandonados
Fr: Limo	Limo, lodo masivo, raíces, bioturbación	Depósitos de planicie de inundación
Fl: Arena, limo, lodo	Arena, limo, lodo con laminación fina, ondulitas pequeñas	Depósitos de canales abandonados, planicie de inundación
Fmb: Limo bioclástico	Limo, lodo masivo con fósiles	Plataforma somera, zona de baja energía
La: Lutitas azuladas	Lutitas, limolitas azul grisáceas, estratificación cruzada o planar	Suspensión en ambiente de baja energía
Lt: Lutitas masivas	Lutitas marrones	Decantación o suspensión en ambiente de baja energía
Lc: Calcilutitas	Lutitas con cemento carbonatado, calcilutitas, presencia de nódulos calcáreos. Laminación paralela	Depósitos de planicie de inundación
Cg: Grainstone	Grainstone amarillo con gradación normal a inversa	Margen de plataforma, barra
Cgh: Grainstone	Grainstone con laminación horizontal	Margen de plataforma, barra, zona de alta energía
Pm: Packstone	Packstone masivo	Margen de plataforma, zona de alta energía
Pmb: Packstone	Packstone color amarillento masivo fosilífero	Margen de plataforma
Wm: Wackestone	Wackestone masivo	Plataforma somera, zona de baja energía
Mm: Mudstone	Mudstone color blanco amarillento masivo con fósiles	Plataforma somera, zona de baja energía
T: Tobas	Toba vítrea (PI, Bt) blanca, masiva	Depósito volcánico medio – distal
TI: Toba – lapilli	Lapilli pumílica, capa paralela	Depósito volcánico proximal

Tu: Tufita	Ceniza, lapilli retrabajada	Depósito epiclástico
C: Carbón	Secuencias de carbón intercaladas con lutitas	Depósitos de pantano
Y: Yeso	Niveles de yeso intercalados con lutitas negras o grises	Depósitos evaporíticos, condiciones áridas

ASOCIACIÓN DE FACIES

La Asociación de Facies está constituida por varias facies íntimamente relacionadas física (vertical y lateralmente) y genéticamente, reflejando un sistema de depósito (Nichols, 2009).

En el presente trabajo se han identificado 8 asociaciones de facies:

Tabla 3.10 Asociación de Facies

Asociación de Facies	Características generales	Facies Asociadas
Llanura deltáica palustre (ALDp)	Ocupa la mayor parte de la llanura deltáica, presenta una sedimentación muy intensa.	Fsm, Fr, Fl, Fc, Sm, Sh, Sp, Shc, (Gt)
Llanura deltáica fluvial (ALDf)	El transporte de los sedimentos se efectúa por canales activos únicos o hallarse subdivididos, dando lugar a canales distributarios, barras de gravas y bahías interdistributarias. También se la puede denominar como llanura deltáica superior con influencia mareal.	Gcm, Gmg, Gmm, Cgh, Sm, Sh, (Srp, Fl, Fsm)
Frente deltáico proximal (AFDp)	Se desarrolla por la sedimentación en la boca de los canales dando lugar un área dominada por aguas someras.	Sh, Sm, St, Fl, (Tu)
Bahía interdistributaria en llanura deltáica (AFDb)	Zonas de abrigo ubicadas a lo largo del borde de la parte superior del delta, con aguas poco profundas y protegidas de las olas y las corrientes fuertes. Son áreas de acumulación de lodo y material fino.	Smc, Fl, Pmb, Fmb, Wm, Mm, (Gt, Cgh)
Planicie de marea submareal (APMs)	Se caracteriza por la presencia de niveles potentes de arena.	Sm, Smc, Cg, Cgh
Planicie de marea intermareal (APMi)	Tiene una mixtura de sedimentos (arena – lodo). Comúnmente no se tiene vegetación significativa.	Sm, Lt, Fc, Lc, (Gmm)
Planicie de marea supramareal (APMu)	Tiene un dominio de sedimentación por suspensión, incluye lodo con abundantes restos de plantas. En condiciones áridas y semiáridas es común la depositación evaporítica (yeso, anhidrita, dolomita)	Lt, Fr, Fsm, Fc, Lc, La, Y, C

Volcano-sedimentarias (AFV)	Consiste de gran variedad de litologías como lavas, depósitos piroclásticos, autoclásticos y epiclásticos. Las litofacies asociadas refieren al carácter de un depósito o parte del mismo que es distinguible en base a la combinación de características como estratificación, tamaño de grano, selección, fábrica y composición, es decir basados en un criterio no genético (Puy, 2006).	TL, T, Tu
-----------------------------	---	-----------

SISTEMAS DE DEPÓSITO

Los sistemas de depósito son conjuntos de rocas con un volumen concreto, es decir son unidades tridimensionales con un sentido estratigráfico. Estos sistemas son asociaciones de facies relacionadas a un proceso (Dabrio, 2010).

En el presente trabajo se han identificado sistemas de depósito deltáicos y planicies de mareas. Las características generales de cada uno de ellos se exponen a continuación:

Sistemas Deltáicos

Los deltas pueden ser definidos como sistemas sedimentarios de geometría generalmente convexa, que destacan en una costa frente a la desembocadura de un río y que se forman cuando el aporte de sedimentos procedentes de este río supera la redistribución de estos sedimentos por parte de procesos marinos tales como olas, corrientes y mareas (Rodríguez, 2010). Existen sistemas deltáicos en extensiones menores de agua (lagos, lagunas) pero estos son de menor escala.

Los sistemas deltáicos están constituidos por la llanura deltáica, que es el componente subaéreo, el frente deltáico y el prodelta, ambos componentes subacuosos (Figura 3.21).

La llanura deltáica tiene un claro dominio continental y se subdivide en los subsistemas palustre y fluvial (Corrales y otros, 1977). El frente deltáico se encuentra en la parte baja de la llanura deltáica, por debajo del nivel de marea con una pendiente sedimentaria acusada (hasta 10°), presenta dominio marino – continental y se subdivide en los subsistemas proximal y distal. El prodelta

presenta un claro dominio marino y una pendiente de mucha menor inclinación que el frente deltáico.

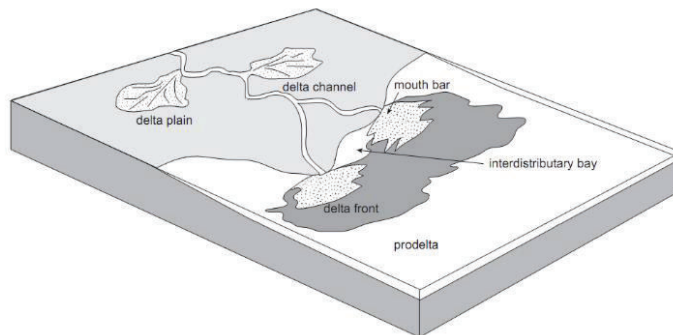


Figura 3.21 Esquema básico de un sistema deltáico.
Modificado de Nichols, 2009

Según las variaciones en las facies y morfología de las deltas se las clasifica según el tamaño de grano (Figura 3.22) y por los procesos de control.

Clasificación por tamaño de grano

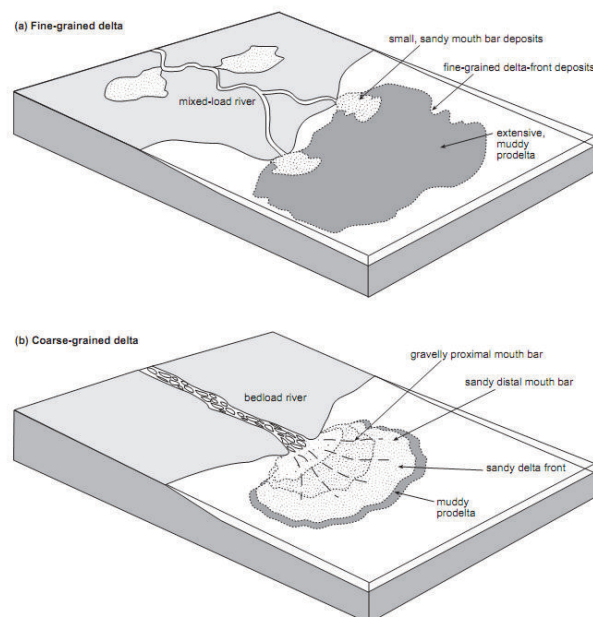


Figura 3.22 Clasificación por tamaño de grano – deltas.
Tomado de Nichols, 2009

Los deltas de grano fino se caracterizan por una alta proporción de material fino granular abastecido en sistema fluvial por ríos de carga mixta. Se forman con un bajo gradiente y se caracterizan por formarse en las extensiones inferiores de los grandes sistemas fluviales.

Los deltas de grano grueso o referido como abanicos deltáicos se forman por el aporte de material grueso – guijarros en ríos trenzados o abanicos aluviales. Se asocian a relieves escarpados o pendientes pronunciadas donde se tiene ríos o aluviales que progradan en una masa de agua (lago o mar).

Procesos de control

Los deltas dominados por ríos presentan efectos menores de olas y mareas. Se requiere un régimen micromareal y que la energía de las olas sea disipada en la línea de costa. Bajo estas condiciones los procesos de transportación y sedimentación son controlados por un régimen fluvial. Es común para este tipo de delta el dominio de canales inestables y un muy bajo gradiente en la llanura deltáica.

Los deltas dominados por olas presentan una redistribución y retrabajamiento de los sedimentos depositados a causa de la acción de las olas, eso hace esperar un mejor sorteo que en los otros tipos de deltas. En general se observa un buen desarrollo de barreras en la desembocadura de los ríos y en los sedimentos de playa que forman cuerpos perpendiculares a la orientación de los canales de los ríos.

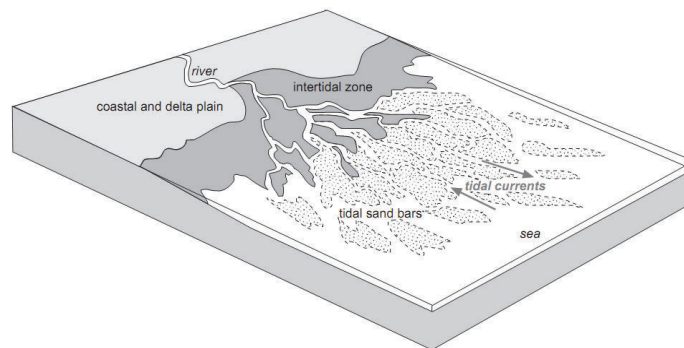


Figura 3.23 Delta dominado por mareas.

Régimen macromareal con afectación importante del frente deltáico por corrientes de marea y región de deposición intermareal en la parte superior.

Tomado de Nichols, 2009

Los deltas dominados por mareas se desarrollan en una región diferentes a los dos tipos de delta anteriores. Las corrientes mareales retrabajan los sedimentos en la desembocadura del río generando barreras perpendiculares a la línea de costa. Es característico de este tipo de deltas la estratificación cruzada y la formación de muddrapes (Figura 3.23).

Sistema de planicie de marea (Tidal – Flat)

Las planicies de marea (tidal – flat) se forman primariamente en las costas mesomareales y macromareales donde la actividad fuerte de las olas está ausente (Boggs, 2006). Pueden desarrollarse en numerosos ambientes como lagoons, bahías, estuarios, deltas y planicies costeras que van de ambientes protegidos a aquellos completamente expuestos en la costa o en el mar abierto (Davis, 2012). El sistema se divide en tres zonas denominadas submareal, intermareal y supramareal (Figura 3.24).

La zona submareal se ubica en la parte baja de la planicie, tiene exposición subacuosa, normalmente está inundada y sujeta a la influencia de las mareas.

La zona intermareal, ubicada en la parte central, tiene exposición subaérea temporal que depende de su posición y las condiciones de la marea; la vegetación es escasa.

La zona supramareal tiene una exposición subaérea la mayor parte del tiempo, con influencia de aguas en intervalos irregulares de tiempo. Es característico en climas tropicales la presencia de abundantes restos de plantas. Para climas áridos o semiárido es común la depositación evaporítica de yeso, anhidrita o dolomita.

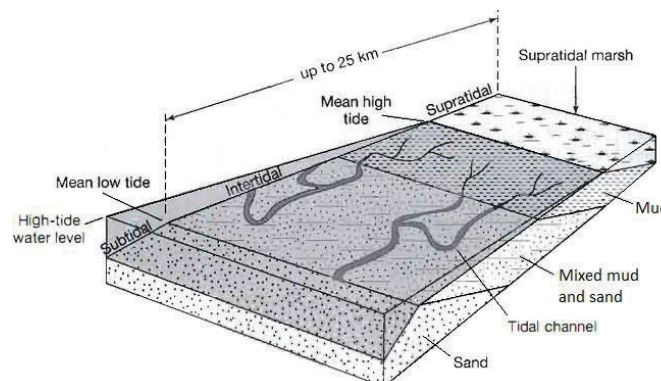


Figura 3.24 Zonas en una planicie de marea
Tomado de Boggs (2006)

La sedimentación en las planicies de marea puede estar dominada por arena o lodo. La depositación varía de acuerdo a la zona y es común observar superficies de reactivación y canales, además de observarse sucesiones cíclicas de sedimentos de grano fino (lutitas).

3.2.1 FORMACIÓN SAN JOSÉ

Para el estudio e interpretación de las asociaciones de facies y los sistemas de depósito en el bloque noroccidental se analizaron 6 columnas estratigráficas y se realizó una columna sintética (Figura 3.25).

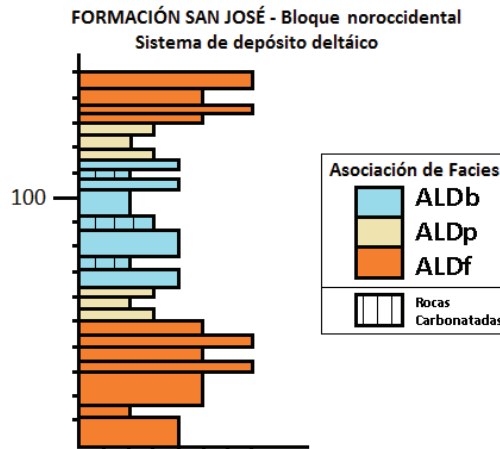


Figura 3.25 Columna sintética Formación San José – Bloque noroccidente

En la secuencia basal de la formación (Anexo 1 y 2), inicia con una Asociación de Facies de Llanura Deltáica fluvial (ALDf), donde predominan facies conglomeráticas con estratos de conglomerados y microconglomerados con gradación normal, base erosiva y formados por clastos andesíticos (TS-03A). Estos estratos presentan a la base ortoconglomerados monomíticos masivos (Gcm) de mala clasificación (\emptyset mayor = 12 cm; \emptyset medio = 4 cm), en una matriz arenosa de tamaño de grano medio a grueso que a techo pasa a ser arenisca masiva (Sm). Continúan con estratos de conglomerados (Gcm) gradados que pasan en techo a ser limos (Fsm) con abundantes rizoconcreciones y nódulos carbonatados (TS-03B), de hasta 60 cm. Las rizoconcreciones se formaron, posiblemente, por variaciones en las condiciones de aguas porales en planicies costeras, mientras que los nódulos se formaron en planicies de drenaje impedido (Raigemborn, 2007). El depósito se dio en una llanura deltáica con canales fluviales activos de carga mixta, donde se tenían planicies con drenajes impedidos que estaban afectadas por variaciones periódicas del nivel de base y salinidad, lo que denotaría una influencia marino somera.

Sobre la primera secuencia, se observa una Asociación de Facies de Llanura Deltáica palustre (ALDp) con predominio de facies limolíticas (Fsm).

A continuación se tiene una Asociación de Facies de Llanura Deltáica fluvial (ALDf) donde predominan facies conglomeráticas con estratos de ortoconglomerados monomíticos masivos, formados por clastos andesíticos, que presentan un sorteo de bueno a moderado y gradación normal, la matriz es arenosa de tamaño de grano medio a grueso, los estratos presentan base erosiva y techo plano – neto. Intercalados a los conglomerados se tiene niveles de areniscas (Sm, Sp) y limolitas (Fsm) que presentan coloraciones ocres que se interpretan como el reflejo de periodos de caída del nivel freático, periodo en el cual el ambiente costero pudo permanecer relativamente seco y expuesto permitiendo la oxidación de la superficie (Raigemborn, 2007). Es decir, se interpreta que el depósito de estos sedimentos tuvo lugar en canales de carga mixta con exposiciones esporádicas.

Cerrando la secuencia estratigráfica se tiene una Asociación de Facies de Llanura Deltáica palustre (ALDp) con predominio de facies limolíticas (Fr, FI) e intercalaciones centimétricas de conglomerados (Gt), nódulos calcáreos, restos vegetales y raíces, al tope se observa yeso intersticial lenticular en forma de lentículas de hasta 6mm de diámetro. El depósito se dio en llanura deltáica vegetada con planicies de drenajes impedidos.

En la parte media de la formación (Anexos 3, 4 y 5), se observa el predominio de la Asociación de Facies de Bahía interdistributaria (ALDb) que inicia con una facies arenosa (Sm) entremezclada con clastos metamórficos dispersos (< 1 cm), seguida de estratos decimétricos formados por calizas packstone y wackestone con presencia de fósiles (ostrácodos, gasterópodos y bivalvos) agrupadas en facies calcáreas (Pmb, Wm) y limolíticas (Fmb). Se observan niveles centimétricos de conglomerados (Gt) intercalados con lutitas fosilíferas (Fmb). Son comunes las intercalaciones de facies calcáreas (Wm) ricas en fósiles, lutíticas (FI) de tonalidad rojiza y areniscas con cemento carbonatado y laminación de ripples de corriente (Smc). Se aprecian vetillas de yeso que atraviesan la secuencia y nivel centimétricos de carbón.

Es común observar intercalaciones de estratos con facies calcáreas (Pmb, Wm, Smc, Shc) ricas en fósiles (TS-10A, TS-26) como ostrácodos, bivalvos,

gasterópodos, mismos que son compatibles con salinidades muy fluctuantes, temperaturas y oxigenación variables. Se han reportado y encontrado foraminíferos bentónicos que son muy comunes en aguas de la plataforma de poca profundidad, pero pueden aparecer con menos abundancia en la parte media y superior de la zona batial (B. Martínez, com. pers.). Además se observan calizas mudstone (TS-10B) y wackestone (TS-10C), calcarenitas (TS-10D) y litarenitas con cemento carbonatado, algunas de ellas muestran secuencias granocrecientes. Se tiene presencia de restos vegetal y se observan abundantes venas de yeso fibroso secundario e impregnaciones de azufre.

Esta secuencia se interpreta como una bahía interdistributaria con desarrollo de marismas o lagoons, aunque no se descarta que regresiones y transgresiones marinas generaran esporádicos eventos de exposición.

A tope se aprecia el cambio hacia una secuencia con Asociación de Facies de Llanura Deltáica palustre (ALDp) que inicia con una facies limolítica (FI), continua con estratos de facies arenosas (Sh, Sp) y se cierra con niveles de facies limolíticas (Fr, FI) que presentan secuencias granocrecientes, contactos erosivos, restos vegetales y nódulos calcáreos. A tope se observa canales de un espesor no mayor a 1 m definidos como de tipo FF, rellenos de sedimentos de planicie de inundación (Raigemborn, 2007). Esta asociación se interpreta como una llanura deltáica con planicies de drenaje impedido e irrupción de canales fluviales menores que aportaban sedimentos.

Continuando en la misma zona, sobre esta secuencia, se observa en afloramientos dispersos con variación cíclica y de orden métrico respecto a las asociaciones de facies lo que permite inferir un contacto transicional – gradual entre las formaciones San José y la sobreyacente Santo Domingo.

En la parte alta de la formación, en la vía Malacatos – Catamayo (688623 / 9537771), se aprecia una Asociación de Facies de Llanura Deltáica fluvial (ALDf) donde predomina la facies conglomerática (Gcm), compuesta por ortoconglomerados monomícticos con muy mala clasificación y bloques de hasta 1.20 m de composición andesítica (TS-04), la matriz es areniscosa de grano grueso. Se observan intercalaciones de facies areniscosas (Sm) y depósitos

tobáceos. Respecto a la geometría externa presentan base erosional y cóncava. La secuencia está atravesada por diques andesíticos. Se puede interpretar como canales gravosos.

Respecto a la naturaleza de los aportes a lo largo de la formación, estos son principalmente conglomerados volcánicos, aunque se pueden observar cuerpos conglomeráticos dominados por clastos metamórficos (Corrochano, 2014), pero estos más bien son aislados.

Adicional a las estructuras observadas para el presente trabajo se consideró, para la interpretación, las sandwaves descritas por Hungerbühler (1997). Estas reflejarían la existencia de canales de reflujos con dirección de paleocorriente hacia el NW que formarían parte de un posible lagoon o entrada de depósito de marea (Anexo 6).

Para el estudio e interpretación de las asociaciones de facies y los sistemas de depósito en el bloque nororiental “La Granja” se levantaron y estudiaron 2 columnas estratigráficas y se realizó una columna sintética (Figura 3.26).

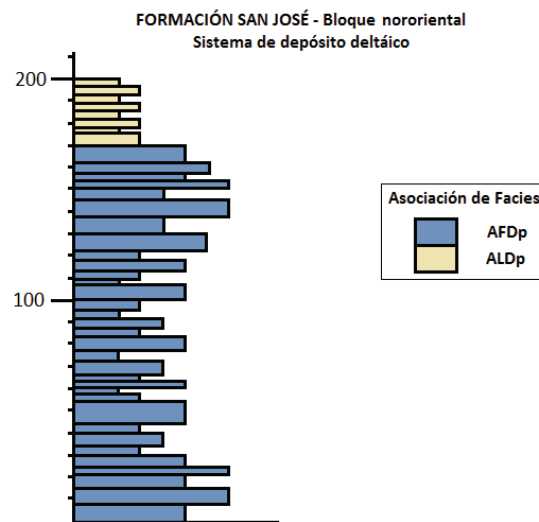


Figura 3.26 Columna sintética Formación San José – Bloque nororiental

La secuencia basal de la formación (Anexo 7), en este bloque, exhibe una Asociación de Facies del Frente Deltáico proximal (AFDp), donde se intercalan estratos con facies limolíticas (FI) y areniscosas (Sh), litológicamente formadas por arcosas con gradación normal. Al centro predominan estratos generalmente amalgamados con facies areniscosas (Sm) e intercalaciones lutíticas (FI) que

reflejarían la pérdida de energía del flujo y sugieren múltiples episodios de erosión y depositación durante los periodos de actividad mareal (Raigemborn, 2007). Se observan niveles de tufitas (Tu) con espesores que no superan los 20 cm, que reflejarían actividad volcánica sincrónica con el depósito de los sedimentos. La geometría externa de los estratos muestra una base erosiva además de estructuras como laminación horizontal, estratificación cruzada a pequeña escala, load casts, estructuras en flama y ondulitas menores. La secuencia continua con una facies brechosa – gravosa (Gmg) granocreciente, con líticos angulosos volcánicos con una matriz areniscosa de grano medio a grueso que se interpreta como canales arenosos que responderían a un evento fluvial catastrófico sin mayor retoque de oleaje.

La Asociación de Facies de Frente Deltáico proximal (AFDp) continua con intercalaciones de facies conglomeráticas (Gmg, Gmm) y areniscosas (Sm, Sh), que se interpretan como barras de desembocadura del frente deltáico lo que reflejaría una progradación del delta. A tope se da un cambio a una Asociación de Facies de Llanura Deltáica palustre con predominio de facies lutíticas (Fl) e intercalaciones de areniscas (Sm). Se tiene restos vegetales y vetillas de yeso secundario (Anexo 8).

3.2.2 FORMACIÓN SANTO DOMINGO

Para el estudio e interpretación de las asociaciones de facies y el sistema de depósito en el bloque noroccidental se analizaron 5 columnas estratigráficas representativas y una columna sintética (Figura 3.27).

La formación en su secuencia basal, denominada Miembro Yeso por Hungerbühler (1997), presenta una Asociación de Facies de Planicie de marea supramareal (APMu) donde predominan las facies limolíticas (Fr, Fsm, Fc, Lc) y lutíticas (Lt, Lc) con nódulos calcáreos y lutíticos de diversos tamaños, no superiores a los 80 cm. De forma aislada se observan intercalaciones de areniscas (Sm). Una característica distintiva, de esta parte de la secuencia, es la presencia de niveles de yeso (Y). Basado en esta asociación, se infiere que la depositación se dio en una planicie de marea con exposiciones prolongadas a

condiciones áridas y drenajes impedidos. Se tuvo, además, canales fluviales menores.

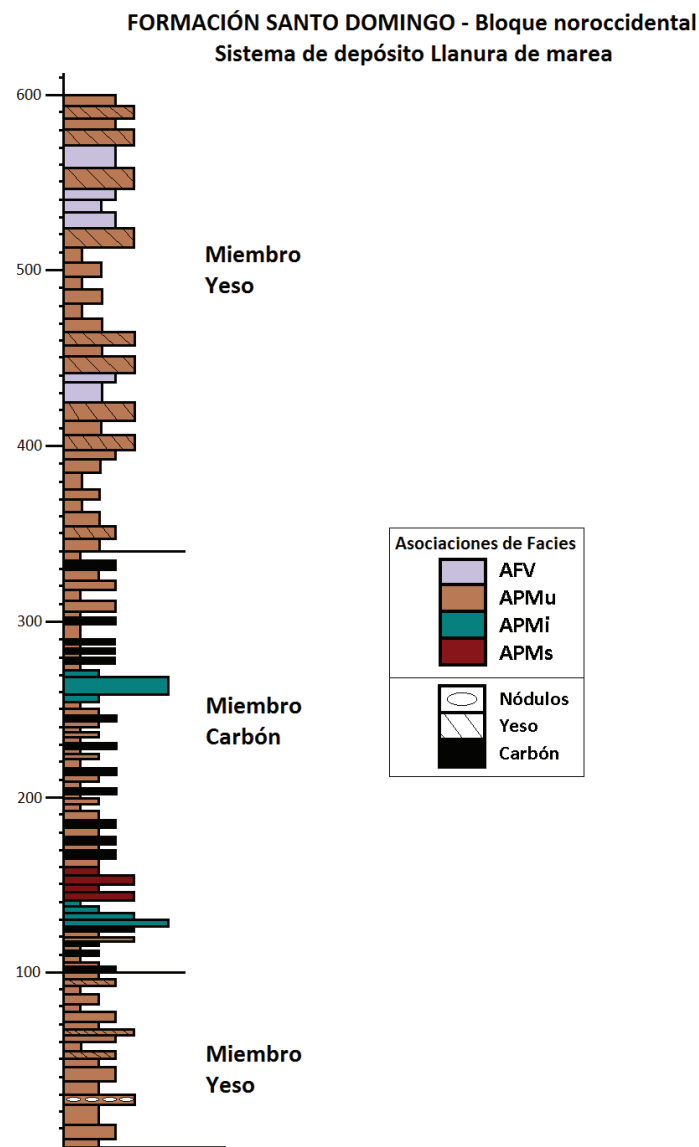


Figura 3.27 Columna sintética Formación Santo Domingo – Bloque noroccidental

En la parte central de la formación o Miembro Carbón (Anexos 9, 10, 11 y 12), se reconoce principalmente la Asociación de Facies de planicie mareal supramareal (APMu), caracterizada por las facies limolíticas (Fr, Fsm), lutítica (Lt) y niveles de carbón (C); esta se interpreta como una zona de exposición subaérea con influencia de aguas en intervalos irregulares de tiempo y presencia de depósitos de pantano.

Otra de las asociaciones interpretada es la de Facies de Planicie mareal intermareal (APMi) que presenta intercalaciones de facies lutíticas (Lt), areniscosas (Sm) y conglomeráticas (Gmm). Se interpreta como una zona con exposición subaérea durante cortos periodos de tiempo. En menor medida se tiene la Asociación de Facies de Planicie Mareal submareal (APMs) con un predominio de facies areniscosas (Sm), interpretada como zona inundada con influencia mareal.

Cerrando la secuencia se encuentra el Miembro Yeso superior (Anexo 13), que presenta intercalaciones entra las asociaciones de Facies de Planicie Mareal intermareal (APMi), supramareal (APMu) y volcánica (AFV). El sistema de depósito se interpreta como una planicie de marea con exposiciones prolongadas a condiciones áridas y drenajes impedidos, además de tener actividad sincrónica con la depositación de los sedimentos de la formación. Se debe resaltar que en este miembro se observan niveles de yeso con mayor potencia, respecto al miembro inferior, lo que denotaría un incremento en los periodos de exposición.

Para el estudio e interpretación de las asociaciones de facies y el sistema de depósito en el bloque nororiental se analizó una columna estratigráfica representativa y una columna sintética (Figura 3.28).

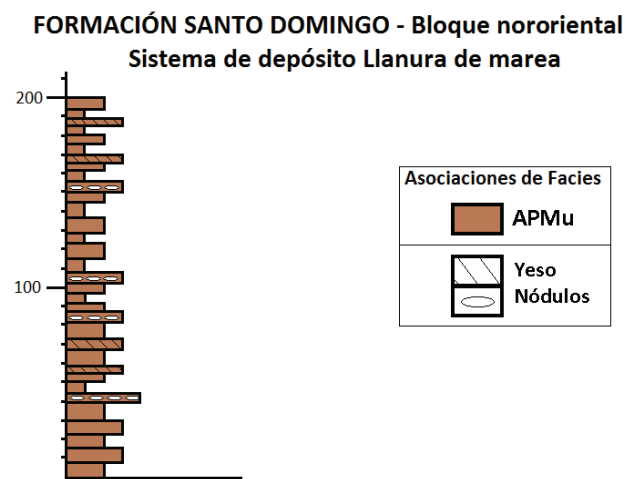


Figura 3.28 Columna sintética Formación Santo Domingo – Bloque nororiental

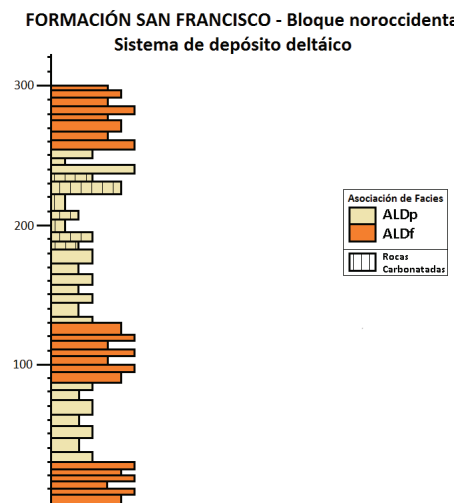
Para esta zona se observa el denominado Miembro Yeso inferior que presenta una Asociación de Facies de Planicie de Marea supramareal (APMu), donde predominan las facies limolíticas (Fr, Fsm) y lutíticas (Lt) con varios niveles con

nódulos calcáreos y lutíticos, no superiores a los 30 cm. Una característica distintiva es la presencia de niveles de yeso (Y), pero estos son de poca potencia (Anexo 14).

Basado en esta asociación, se infiere que la depositación se dio en una planicie de marea con exposiciones prolongadas a condiciones áridas y gran cantidad de drenajes impedidos.

3.2.3 FORMACIÓN SAN FRANCISCO

Para el estudio e interpretación de las asociaciones de facies y de los sistemas de depósito en el bloque noroccidental, se analizaron 2 columnas estratigráficas representativas y una columna sintética (Figura 3.29).



La formación en su sección basal (Anexo 15) presenta varias secuencias formadas por asociaciones de Facies de Llanura deltáica fluvial (ALDf), caracterizada por intercalaciones de facies areniscosas (Sm, Sp) – conglomeráticas (Gcm, Gmg) de carácter granodecrecientes, y una asociación de facies palustre (ALDp) con facies limolíticas (Fsm) y lutíticas (La). En la sección expuesta en la Urbanización Vista Hermosa, se observa una Asociación de Facies de Llanura Deltáica fluvial (ALDf) con facies areniscosas (St, Srp), lutíticas (Fmb, Fl) y conglomeráticas (Gt). Es común observar estratos de tufitas y tobas.

En general se interpretaría a la sección basal como una Llanura deltáica fluvial con una fuerte influencia mareal, por las estructuras observadas y confirmada por la presencia de abundante fauna como ostrácodos, gasterópodos y foraminíferos (TS-05A, B). Además de estas condiciones se tiene periodos de volcanismo sincrónico a la depositación de los sedimentos.

A tope, en la secuencia superior (Anexo 16), predomina la Asociación de Facies de Llanura Deltáica fluvial con presencia de estratos métricos que exhiben facies conglomeráticas (Gmg, Gmm) intercaladas con facies areniscosas (Sm, Sh). Se observan estratos centimétricos de tufitas (Tu). El sistema de depósito se interpreta como deltáico en una llanura con influencia fluvial y presencia de volcanismo.

Para el estudio e interpretación de las asociaciones de facies y los sistemas de depósito en el bloque nororiental se analizó 8 columnas estratigráficas representativas (Figura 3.30).

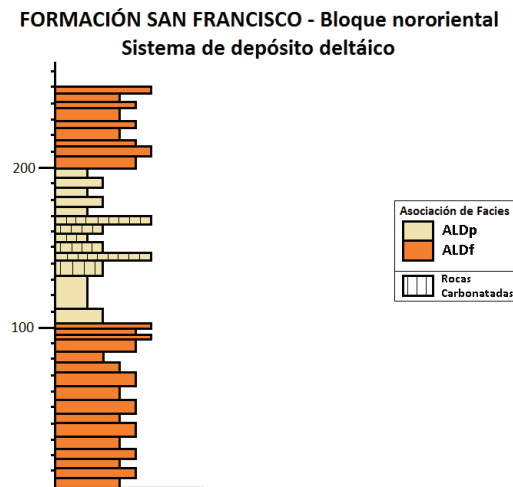


Figura 3.30 Columna sintética Formación San Francisco – Bloque nororiental

La secuencia basal (Anexo 17) exhibe una predominante Asociación de Llanura Deltáica fluvial con facies areniscosas (Sm, Smc, Srp, Sh, Sp) intercalada con facies limolíticas (Fr, Fl, Fc) y conglomeráticas (Gcm). Es común la presencia de pequeños deslizamientos sinsedimentarios o slumps, limitados por estratos sin deformación. Sobre esta secuencia se observa un cambio de a un Asociación de Facies de Llanura Deltáica palustre con predominio de facies limolíticas (Fsm) con intercalaciones facies areniscosas (Fsm) que reflejarían la existencia de canales

abandonados. A tope se da el cambio a una Asociación de Facies de Llanura Deltáica fluvial con facies areniscosas (Sp) y conglomerática (Gcm). La secuencia basal, en esta zona, se interpreta como de dominio de Llanura deltáica predominantemente fluvial con etapas palustres de corta duración. Los slumps denotan la inestabilidad gravitacional de los sedimentos causados posiblemente por sismos o deformación sinsedimentaria en la cuenca.

La sección media (Anexos 18, 19, 20 y 21) empieza con una Asociación de Llanura Deltáica palustre, conformada por facies limolíticas (Fc) y areniscosas (Shc, St,). Continúa con un predominio de la Asociación de Facies de Llanura Deltáica fluvial caracterizada por facies areniscosas (Shc, Smc, Wm) intercaladas con facies conglomeráticas (Cgh, Gmg). Se observa una fuerte influencia mareal caracterizada por facies carbonatadas (Mm, Wm, Pm, Pm), donde se tiene presencia de ostrácodos.

En la secuencia superior (Anexo 22, 23 y 24), predomina la Asociación de Facies de Llanura Deltáica fluvial con estratos métricos que exhiben facies conglomeráticas (Gmg, Gmm) intercaladas con facies areniscosas (Sm, Sh) y limolíticas (Fsm). Se observan restos vegetales y estratos centimétricos de tufitas (Tu). El sistema de depósito se interpreta como Llanura Deltáica fluvial con presencia de volcanismo.

3.2.4 FORMACIÓN CERRO MANDANGO

Para esta formación no se realizó el estudio sedimentológico debido a que no existen buenos afloramientos, en la zona de estudio, que exhiban estructuras o características que permitan desarrollar un estudio adecuado.

De lo revisado superficialmente en la zona centro sur de la cuenca, se infiere la posibilidad de un Ambiente Deltáico de grano grueso asociado a Deltas de tipo Gilbert o un sistema de abanicos aluviales propuesto por Hungerbühler y otros (2002).

CAPÍTULO 4

DOMINIOS MORFOESTRUCTURALES Y ESTRUCTURAS REGIONALES

En el presente capítulo se estudian los dominios morfoestructurales y las principales estructuras regionales que controlan la posición de los bloques. Además, se describen las relaciones tectónicas entre el basamento y el relleno sedimentario.

4.1 DOMINIOS MORFOESTRUCTURALES

4.1.1. DEFINICIONES

Las unidades de relieve son espacios continuos que representan a las formas superficiales (estructural y modelado) homogéneas, que han tenido un origen común. Estas se agrupan en unidades o dominios morfoestructurales (CEDE, 2012).

Los dominios morfoestructurales se clasifican en:

Dominio sedimentario

En las rocas sedimentarias se pueden distinguir dos tipos de relieves estructurales:

- a) Horizontales o acinales que se forman por la acción de la erosión sobre estratos de distinta resistencia y sobre los que no ha actuado la tectónica o lo ha hecho muy débilmente.

Se caracterizan por relieves tabulares denominados plataformas estructurales de extensión variable, que están separadas por valles-cornisa formadas por la cornisa (fuerte pendiente y formada por rocas más duras) y por el talud (pendiente más suave y formada por rocas más blandas).

- b) Cuestas o monoclinales que son relieves que se localizan en las vertientes o bordes de las cuencas sedimentarias adaptándose a la disposición de las capas subyacentes o como una consecuencia derivada de los procesos tectónicos.

Se caracterizan por las cuestas que presentan un frente, de gran pendiente, donde se diferencia la cornisa y el talud; y por el dorso de pendiente suave que es una estructura primaria (estratificación) o derivada. Presentan una red hidrográfica compleja, en forma de rejilla, debido a que los cursos fluviales siguen los buzamientos de los estratos.

Dominio metamórfico

Las rocas metamórficas forman el núcleo de plataformas, zócalos y macizos antiguos. Afloran en grandes extensiones, son muy coherentes y resistentes a la meteorización mecánica, aunque no a la meteorización química. En este tipo de rocas aparecen muchas debilidades (diaclasa, fisuras, fracturas) donde se concentra la erosión.

El aspecto general del relieve metamórfico es el de una llanura ondulada u oblonga, donde aparecen depresiones muy estrechas y profundas. El contacto en la parte baja entre las rocas metamórficas y los sedimentos generados es muy claro.

La red hidrográfica se encaja profundamente y por lo general sigue una red de fallas o diaclasas, generando un relieve fracturado con líneas rectas con bruscos cambios de sentido.

Dominio volcánico

Las rocas volcánicas presentan tres tipos de relieves:

- a) Volcán con acumulación de fragmentos de lava de diferentes tamaños, calderas y domos. Su morfología varía dependiendo del carácter de la erupción, el tipo de material emitido y la posterior disposición del cuerpo rocoso.
- b) Coladas que forman planadas o mesas donde se observan amplias mesetas estructurales y limitada por escarpes escalonados. Morfológicamente pueden adquirir un aspecto rugoso.
- c) Formas de excavación que se forman al actuar la erosión diferencial sobre rocas sedimentarias que cubren las formaciones de rocas volcánicas dejándolas al descubierto. Se diferencian láminas, que se presentan como

una masa tabular con perfil de cornisas escalonadas y cuellos con una estructura que resalta en el relieve debido a su resistencia a la erosión.

4.1.2. CARACTERIZACIÓN MORFOESTRUCTURAL

En el área de estudio se observan tres tipos de dominios morfoestructurales (Figura 4.1). Las rocas sedimentarias ocupan los relieves bajos socavados por valles subparalelos que desembocan sobre ríos principales, los cuales circulan a través de las rocas menos resistentes a la erosión, mientras que las rocas volcánicas y metamórficas forman los fuertes relieves del área que bordean la cuenca. Las rocas volcánicas forman una faja elongada con forma de cuesta estructural buzante al éste bajo la cuenca sedimentaria en el borde occidental de la cuenca. Las rocas metamórficas forman los relieves más altos cuyos valles frecuentes pero fuertemente disectados por erosión fluvial.

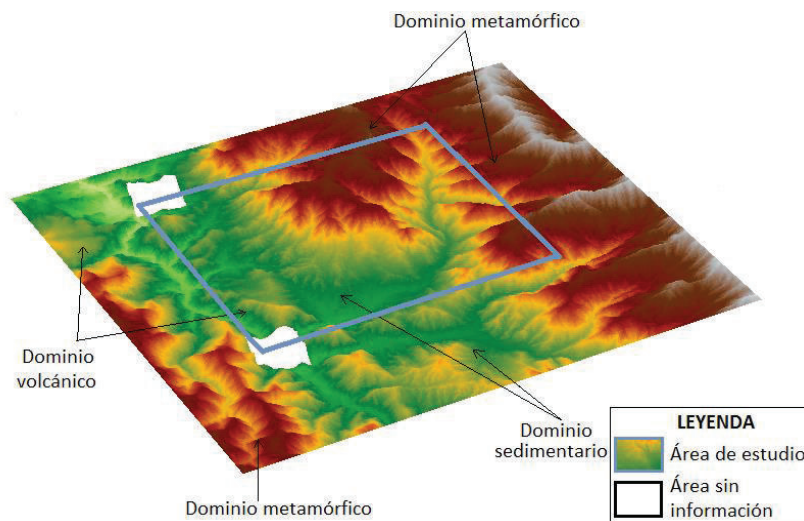


Figura 4.1 Dominios morfoestructurales.

Para el bloque noroccidental, la Formación San José se caracteriza por presentar relieves suaves con lomas moderadamente empinadas, donde el desnivel relativo no supera los 40 m. Las formaciones Santo Domingo y San Francisco, presentan cimas abruptas irregulares con desniveles fuertes (Figura 4.2) y deslizamientos gravitacionales al norte; hacia el centro del bloque (Urbanización Vista Bella) los escarpes son menos pronunciados.

La variación en la morfología se puede asociar a la litología pero principalmente estaría relacionada a la tectónica que afecta a los límites fallados de la cuenca, infiriéndose que el de mayor actividad es el ubicado al norte (Fallas El Tambo y San Francisco).



Figura 4.2 Panorámica de las Formaciones Santo Domingo y San Francisco
Vista hacia el SE desde Picota (691850 / 9538521)

En el bloque nororiental morfológicamente se exhibe frentes de gran pendiente, donde se diferencian las cornisas y el talud de pendientes pronunciadas (30° - 60°). En general el relleno, de gran extensión, entre los frentes tiene pendiente constante y moderadamente suave (Figura 4.3).



Figura 4.3 Panorámica del Bloque La Granja
Vista hacia el NW desde Loma Panecillo (697342 / 9532501)

La morfología estaría asociada a la tectónica que afecta al bloque (Fallas El Tambo, Picota, San Francisco y Loja).

En resumen al norte de la cuenca predominan los relieves de laderas suaves hasta moderadamente empinadas (4° - 16°) interrumpidas por lomas con cimas abruptas irregulares (32° - 60°), donde se diferencia un frente de gran pendiente. El desnivel relativo no supera los 40 m en para el bloque noroccidental y varía entre 100 a 300 m aproximadamente para el bloque nororiental. La red de drenaje es del tipo dentrítico con afluentes subparalelos.

En general el relleno neógeno es del tipo cuesta o monoclin y pertenece al dominio sedimentario. Se interpreta como una cuenca sedimentaria afectada por una tectónica activa en la sedimentación y posterior a ella.



Figura 4.4 Panorámica de los dominios morfoestructurales
Vista hacia el NE desde Cerro Minas (UTM: 691206 / 9531391)

Hacia el norte y oriente de la zona de estudio se observan una serie de montañas con laderas rectas convexas muy empinadas (32° - 75°), que cubren una gran extensión y en las zonas altas forman llanuras onduladas interrumpidas por depresiones muy estrechas y profundas. El desnivel relativo es de entre 700 y 1200 m. La red de drenaje es de tipo dendrítico rectangular, aparentemente controlado por las estructuras mayores.

Esta parte de la zona estudiada corresponde al dominio metamórfico formado por las unidades Chigüinda y Tres Lagunas. El contacto en la parte baja entre las rocas metamórficas y el relleno sedimentario es muy claro (Figura 4.4).

En el occidente de la cuenca se exhibe una cadena montañosa con laderas de pendiente moderada a fuerte (32° - 60°) que a tope forman cuchillas estrechas y mesetas de poca extensión (Figura 4.5).



Figura 4.5 Panorámica del sur del Bloque Noroccidental
Vista hacia el NW desde Cerro Minas (UTM: 691206 / 9531391)

Esta zona pertenece al dominio volcánico con relieve del tipo Formas de excavación y respondería a una erosión diferencial de la Formación Loma Blanca y su posterior exposición.

Un tectonismo activo generó el depósito constante de coluviales que cubrieron gran parte de los límites tectónicos y suavizaron los escarpes originales.

4.2 ESTRUCTURAS REGIONALES

La zona de estudio está afectada por sistemas de fallas regionales y locales, con diferentes tendencias dominantes de dirección N – S, NW – SE y NE – SW. Algunas de estas estructuras frágiles establecen los límites de la cuenca y/o contactos tectónicos entre unidades y formaciones geológicas (Figura 4.6).

4.2.1 FALLAS DE LÍMITE DE CUENCA

Varias fallas limitan la cuenca sedimentaria y se caracterizan por ser de carácter regional, afectando unidades y formaciones del basamento ígneo y/o metamórfico.

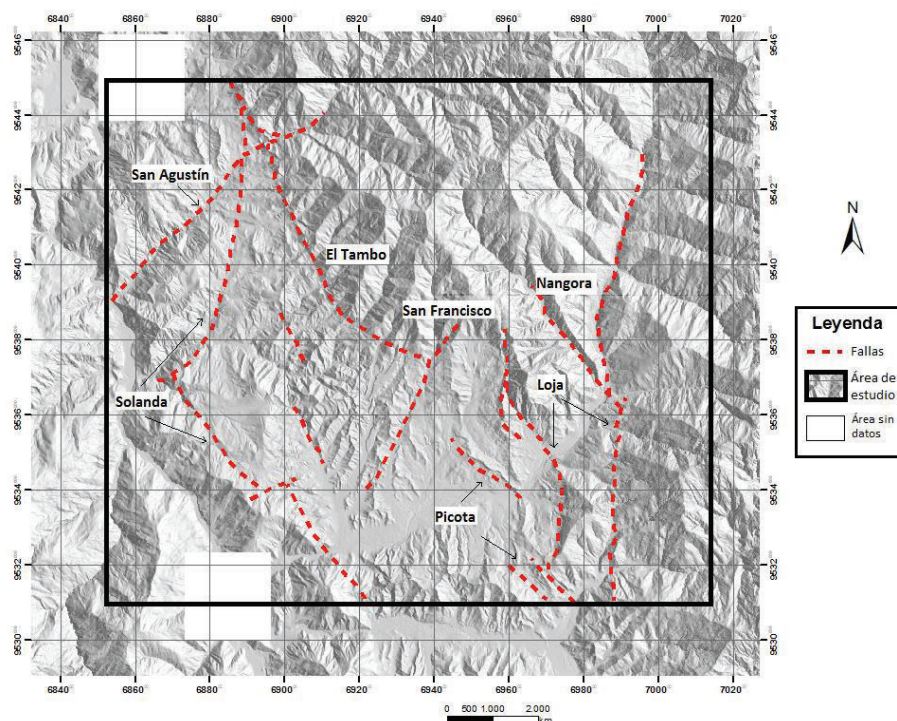


Figura 4.6 Mapa esquemático de fallas Norte de la cuenca Malacatos – Vilcabamba

La falla inversa Loja con dirección principal N – S y buzamiento al E, corresponde al límite oriental de la cuenca y presenta varias ramificaciones que levantan a la Unidad paleozoica Chigüinda por sobre las formaciones neógenas. Morfológicamente forma escarpes pronunciados y los controles de los drenajes irregulares son prominentes, con coluviales que cubren el trazo de la falla.

La falla inversa Solanda presenta varios segmentos con direcciones cambiantes entre N – S y NW – SE y buzamiento hacia el W. Constituye el límite occidental de la cuenca y afecta a la Formación Loma Blanca, aunque en ciertas zonas atraviesa las formaciones sedimentarias. Morfológicamente presenta escarpes irregulares. Se asocia a esta falla un trazo menor con dirección E – W en el sector de quebrada La Cabrería.

Falla inversa El Tambo con dirección cambiante de N – S hasta ENE – WSW y un buzamiento al NE, limita la cuenca al nororiente. Presenta varias ramificaciones que afectan al basamento y a la cuenca sedimentaria. Al norte de la cuenca afecta a la Unidad Huayco, mientras al noroccidente define el límite entre el basamento metamórfico y las formaciones sedimentarias. Morfológicamente se tienen escarpes abruptos e irregulares y la mayor parte del trazo de la falla está cubierto por coluviales.

La falla inversa dextral San Agustín con dirección NE – SW y con buzamiento aparente vertical, atraviesa el norte de la cuenca y es el límite entre la Unidad Huayco y la Formación Santo Domingo. Morfológicamente se la identifica a lo largo de la quebrada homónima y la mayor parte del trazo de la falla está cubierto por depósitos aluviales. Es la única falla local de las que limitan la cuenca.

Estructuralmente, una falla inversa siniestral, asociada a la falla de Loja, con dirección NE – SW afectó el depósito de los sedimentos en diferentes periodos de sedimentación, esto se evidencia en la disminución del espesor de las formaciones sedimentarias y en un pliegue sinsedimentario, con eje NNE – SSW (UTM: 696295 / 9534852).

5.2.2 FALLAS DE SEGMENTACIÓN INTRACUENCA

Dentro de la cuenca se pueden observar trazos de falla paralelos y extendidos a los sistemas que limitan la cuenca. Estos trazos no son continuos y afectan a las formaciones sedimentarias.

La falla inversa siniestral San Francisco tiene una dirección NE – SW y un buzamiento aparente vertical. Divide el norte de la cuenca en dos bloques, noroccidental y “La Granja”.

Una de las prolongaciones de la falla El Tambo, recibe el nombre de falla Picota al ingresar en la cuenca por el poblado homónimo. Tiene una dirección NW – SE y un buzamiento NE. Los diferentes segmentos en los que se subdivide el trazo principal, han generado el levantamiento de las secuencias basales de la cuenca en la vía Loja – Malacatos (695984 / 9534245) y en el sector de Cararango (696221 / 9531953).

Se pueden observar fallas menores (< 2 km) paralelas a las fallas más grandes, que en algunos casos limitan las formaciones sedimentarias. Además, fallas gravitacionales afectan los depósitos sedimentarios en las zonas altas y pliegues volcados de corta amplitud se observan al borde de la falla El Tambo. El trazo de la falla San Francisco está cubierta de coluviales.

4.3 BLOQUES INTRACUENCA

La zona estudiada está afectada por estructuras frágiles de importancia regional, las mismas que generan la división de la zona de estudio en dos bloques tectónicamente definidos (Figura 4.7). La relación tectónica y estratigráfica entre las formaciones ha llevado a considerar la repetición de las formaciones sedimentarias dentro del denominado bloque “La Granja”.

Kennerley (1973) describe al centro de la cuenca, entre San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba, una falla con dirección N – S que sería la causante de la repetición de la secuencia sedimentaria.

Fierro (1991) describe “*un rasgo tectónico con trazo N177*” que atraviesa el centro de la cuenca, dividiendo el norte de la cuenca en dos bloques y generando la repetición de las formaciones sedimentarias al occidente y oriente de la estructura.

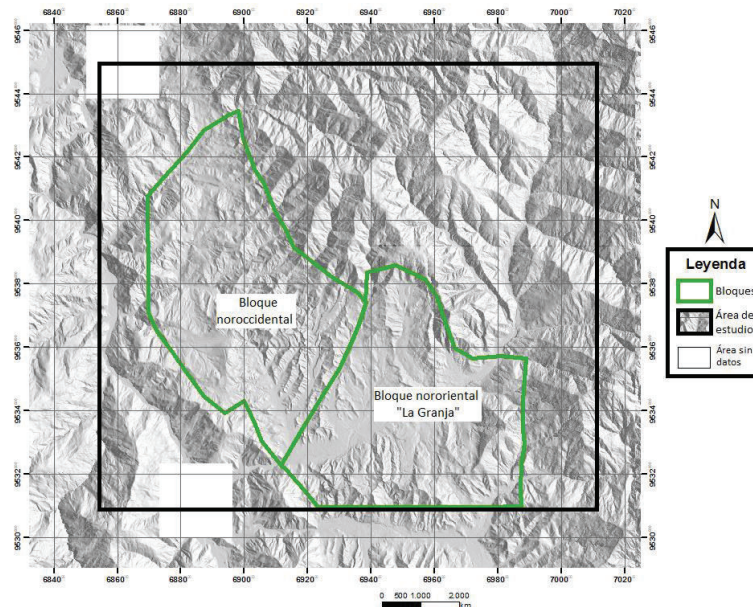


Figura 4.7 Esquema de bloques tectónicos Norte de la cuenca Malacatos – Vilcabamba

Hungerbühler (1997) y Hungerbühler y otros (2002) vinculan la falla inversa “Picota” con dirección NW – SE, entre Picota y San Pedro de Vilcabamba, a la repetición de las formaciones sedimentarias dentro de un bloque llamado “La Granja”.

4.2.1 ESTRUCTURACIÓN DE LOS BLOQUES

Los dos bloques que conforman la cuenca de Malacatos – Vilcabamba (Figura 4.7) presentan una evidente disposición estructural distinta separada por rasgos tectónicos:

El bloque “noroccidental” de la cuenca Malacatos – Vilcabamba (Figura 4.8) ocupa el área desde el poblado de San Agustín hasta el Cerro Pan de Azúcar. Está limitado al norte por la falla de San Agustín, al este por las fallas El Tambo y San Francisco, al oeste y al suroeste por la falla Solanda.



Figura 4.8 Panorámica de parte del bloque noroccidental
Vista hacia el NW desde Loma Cochasquí (UTM: 688102 / 9537462)

Este bloque exhibe la secuencia sedimentaria completa de la cuenca (capítulo 3) con la Formación San José, a la base, en el occidente y las formaciones San Francisco y Cerro Mandango, a techo, en el oriente (Figura 4.9).

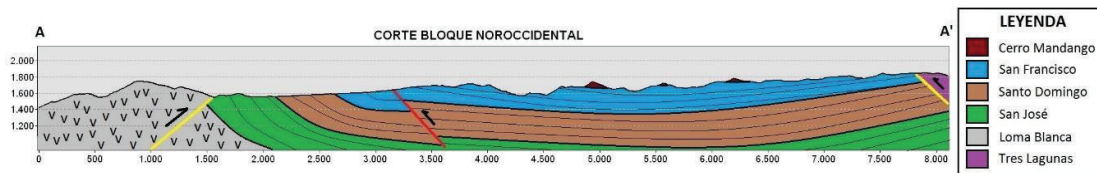


Figura 4.9 Corte bloque noroccidental
(A: 685818 / 9535727 – A': 693755 / 9537346)

Datos estructurales tomados en “azimut de buzamiento” sobre estratos sedimentarios de este bloque han sido tratados estadísticamente en proyección estereográfica a fin de encontrar el plano más representativo para la inclinación de todo el bloque.

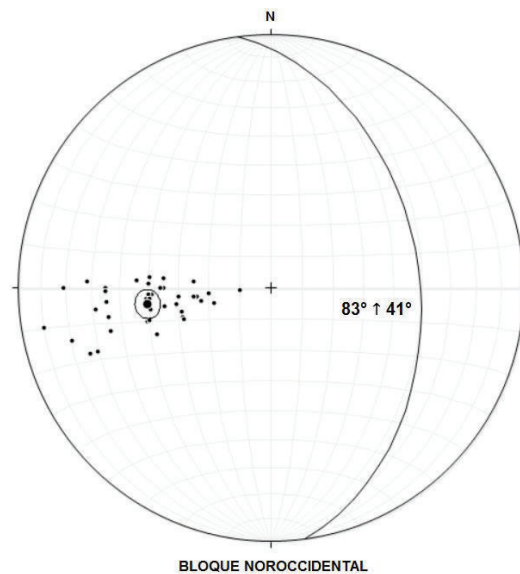


Figura 4.10 Plano de estratificación bloque noroccidental
Cálculo estadístico y proyección estereográfica a partir de datos de campo ($83^\circ \uparrow 41^\circ$)

Los resultados del ploteo estadístico de los polos forman una nube alargada que presenta muy poca dispersión en la dirección del azimut, pero una considerable dispersión en el ángulo de buzamiento. El plano representativo obtenido tiene una inclinación de 41° hacia el azimut 83° (Figura 4.10).

El bloque nororiental “La Granja” de la cuenca Malacatos – Vilcabamba, abarca el nororiente de la cuenca ocupando el área desde el poblado de San Francisco hasta Cararango. Está limitado al norte por la falla El Tambo, al este por la falla Loja, al oeste por la falla San Francisco y al sur por la falla Picota (Figura 4.11).



Figura 4.11 Panorámica del Bloque “La Granja”
Vista hacia el NE desde Cerro Minas (UTM: 691206 / 9531391)

Este bloque preserva los niveles basales y medios de la secuencia sedimentaria de la cuenca (Capítulo 3). La base se localiza al sur del bloque, representada por la Formación San José, muestra un espesor un poco mayor al observado en el bloque adyacente. La parte media, Formación Santo Domingo, presenta un espesor considerablemente menor al exhibido en el bloque contiguo. A techo la Formación San Francisco, con un espesor similar en ambos bloques, limita directamente con el basamento metamórfico (Figura 4.12).

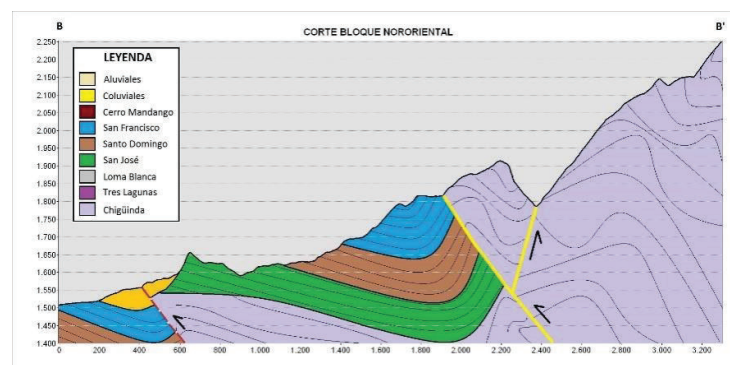


Figura 4.12 Corte bloque nororiental
(B: 695216 / 9534012 – A': 696390 / 9537092)

Datos estructurales tomados en el bloque La Granja han sido ploteados en proyección estereográfica, presentando una nube de puntos muy concentrada que presenta muy poca dispersión. El plano representativo obtenido tiene una inclinación de 37° hacia el azimut 41° (Figura 4.13)

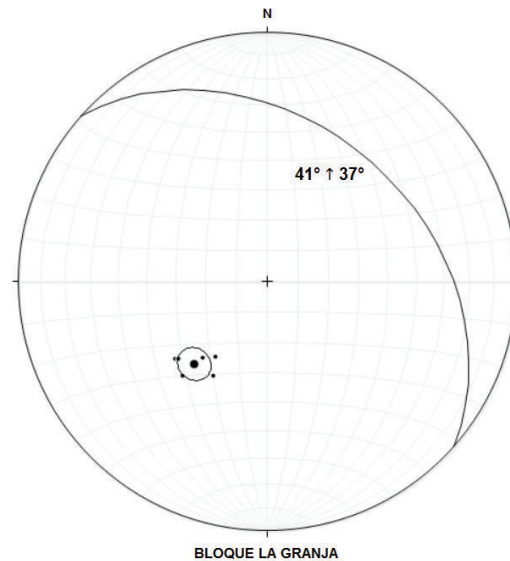


Figura 4.13 Plano de estratificación bloque nororiental "La Granja"
Cálculo estadístico y proyección estereográfica a partir de datos de campo ($41^\circ \uparrow 37^\circ$)

4.2.2 BASCULAMIENTO DE LOS BLOQUES

La disposición geométrica de los planos representativos de cada bloque (Figura 4.14) indica dos tendencias marcadas: una hacia el este (bloque noroccidental) y otra hacia el noreste (bloque La Granja).

Evidencia de campo sugiere que un límite tectónico separa los dos bloques. La estratigrafía indica que un salto vertical ha puesto en contacto las formaciones más antiguas del bloque La Granja contra las formaciones más jóvenes del bloque noroccidental. Dicho salto podría corresponder a una falla con fuerte componente vertical (sea normal o inversa). Sin embargo, las fallas que limitan la parte norte del bloque La Granja (Figura 4.6) contra el basamento metamórfico (Nangora y Loja) tienen una tendencia NW e indican movimientos inversos con cortos cabalgamientos y pliegues de arrastre observados al norte de El Carmen. La falla Picota afecta solo al relleno del bloque y levanta notablemente la parte sur por medio de una trayectoria curva. De esta manera con un movimiento inverso sobre una falla curva es posible generar un basculamiento secundario de la

secuencia estratigráfica del bloque La Granja hacia la dirección NE partiendo de una inclinación inicial hacia el E como es registrada en el bloque noroccidental.

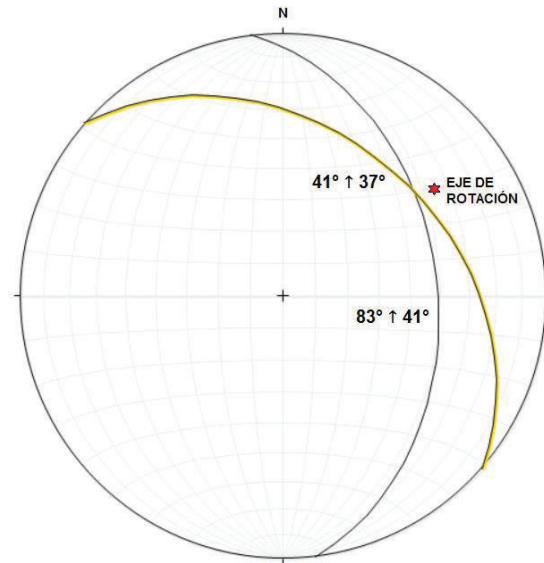


Figura 4.14 Relación entre los planos de estratificación de los bloques noroccidental y nororiental. En línea amarilla el plano del bloque La Granja.

El eje de rotación del bloque a lo largo de dicha falla curva (Picota) ha sido determinado por medio de técnicas de rotación estereográfica. Dicho eje tiene una inclinación de 30° hacia el azimut 55° (Figura 4.14) y el valor angular de rotación necesario para bascular el bloque La Granja desde el E hacia el NE es de 26° en sentido horario por medio de una falla curva cuyo buzamiento general corresponde a la inclinación del eje de rotación.

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y MODELO DE EVOLUCIÓN

En este capítulo se presentan los resultados del presente trabajo, mediante una síntesis sedimentaria y un modelo de evolución tectosedimentaria para la zona estudiada. Al final se realiza una breve discusión sobre el estudio realizado.

5.1 SÍNTESIS SEDIMENTARIA

Bloque noroccidental

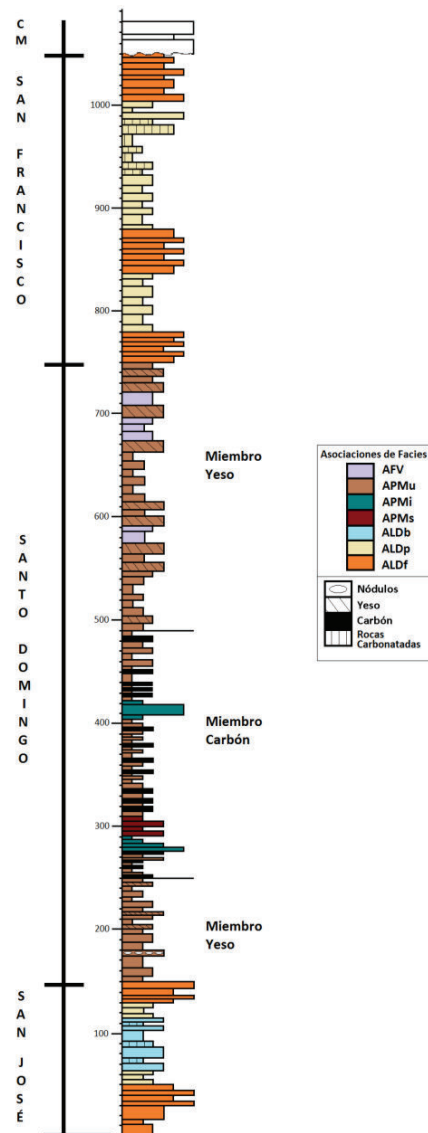


Figura 5.1 Columna sintética del bloque noroccidental

El registro sedimentario de este bloque se inicia con la Formación San José, que exhibe en su base asociaciones de facies de llanura deltáica fluvial (ALDf) y palustre (ALDp), formadas por facies areniscosas, conglomeráticas y limolíticas con restos vegetales. En la sección media se observa una Asociación de Facies de Bahía interdistributaria en una llanura deltáica (ALDb) caracterizada por facies calcáreas ricas en fósiles (ostrácodos, bivalvos, gasterópodos y foraminíferos bentónicos) intercaladas con facies limolíticas y lutíticas donde existen restos vegetales, abundantes venas de yeso fibroso secundario e impregnaciones de azufre. A tope se observan intercalaciones de asociaciones de facies de llanura deltáica palustre (ALDp) y fluvial (ALDf).

El depósito de la formación se dio inicialmente en una llanura deltáica con canales fluviales activos de carga mixta, donde se tenían planicies con drenajes impedidos afectados por variaciones periódicas del nivel de base y salinidad, lo que denotaría una influencia marino somera (mareal). Tras una subida relativa del nivel del mar (transgresión) o una migración lateral de los lóbulos deltaicos, se produjo un cambio a una asociación de bahía interdistributaria, probablemente conectada con el mar abierto, donde se registraron ciclos regresivos y transgresivos de menor entidad, que generaron esporádicos eventos de exposición e inundación. En esta bahía se produjeron pequeñas descargas siliciclásticas representadas por las secuencias negativas de las facies de areniscas. Por encima, se vuelven a registrar sedimentos de llanura deltaica con irrupción de canales fluviales gravosos y amplias zonas de exposición (llanura deltaica superior), indicando: 1) un nuevo desplazamiento lateral del sistema; 2) y/o una bajada relativa del nivel del mar. Existió actividad volcánica sincrónica a la depositación de los sedimentos. La existencia de diferentes tipos de aporte podría sugerir que el sistema de drenaje era radial – centrípeto, recibiendo aportes desde el W y el E.

La secuencia continua con la Formación Santo Domingo que presenta en su base o Miembro Yeso, una Asociación de Facies de Planicie de marea supramareal (APMu) donde predominan las facies limolíticas y lutíticas con nódulos calcáreos y lutíticos; se observa también facies areniscosas menores y niveles de yeso. En la parte central de la formación o Miembro Carbón, se reconoce principalmente una

Asociación de Facies de planicie mareal supramareal (APMu), caracterizada por las facies limolíticas, lutítica y niveles de carbón; además de las asociaciones de Facies de Planicie mareal intermareal (APMi), con intercalaciones de facies lutíticas, areniscosas y conglomeráticas y la Asociación de Facies de Planicie Mareal submareal (APMs) con un predominio de facies areniscosas. Cerrando la secuencia se encuentra el Miembro Yeso, que presenta intercalaciones entre las asociaciones de Facies de Planicie Mareal intermareal (APMi), supramareal (APMu) y volcánica (AFV).

El depósito de la formación inició en una planicie de marea con exposiciones prolongadas a condiciones áridas, drenajes impedidos y canales fluviales menores. Continuó con zonas expuestas y afectas por la influencia de aguas en intervalos irregulares de tiempo y una importante presencia de depósitos de pantano, con una posible influencia mareal. La formación se cierra con una planicie de marea con exposiciones mucho más prolongadas a condiciones áridas y drenajes impedidos, además de existir una actividad volcánica y tectónica sincrónica importante con la depositación de los sedimentos de la formación.

El relleno sedimentario continuó con la Formación San Francisco que en su sección basal presenta varias series que exponen asociaciones de Facies de Llanura deltáica fluvial (ALDf), caracterizada por intercalaciones de facies areniscosas – conglomeráticas, y una asociación de facies palustre (ALDp), con facies limolíticas y lutíticas. Se debe resaltar la presencia de facies lutíticas ricas en fósiles (ostrácodos, gasterópodos y foraminíferos) que reflejarían una fuerte influencia mareal. A tope predomina la Asociación de Facies de Llanura Deltáica fluvial (ALDf) con presencia de estratos métricos que exhiben facies conglomeráticas intercaladas con facies areniscosas.

El depósito de la formación se dio en una llanura deltáica con una fuerte influencia mareal con cambios esporádicos hacia marismas – estuarios o lagoons. Se tuvo ocasionales periodos de llanura deltáica palustre y un volcanismo sincrónico al depósito de los sedimentos.

La secuencia se cierra con la Formación Cerro Mandango, que en este bloque presenta una pobre exposición, aunque de lo observado en mejores

afloramientos, al centro sur de la cuenca, se infiere la posibilidad de un sistema de depósito deltáico de grano grueso asociado a Deltas de tipo Gilbert o un sistema de abanicos aluviales de cierre de cuenca.

Bloque nororiental “La Granja”

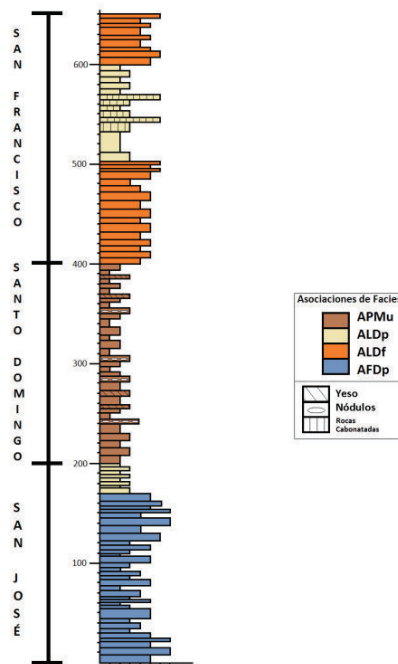


Figura 5.2 Columna sintética del bloque nororiental

En la base de este bloque aflora la Formación San José, que exhibe una Asociación de Facies del Frente Deltáico proximal (AFDp), donde se intercalan estratos con facies limolíticas, areniscosas amalgamadas, conglomeráticas y brechosas. A tope se tiene una Asociación de Facies de Llanura Deltáica palustre (ALDp) con predominio de facies lultíticas e intercalaciones de areniscas donde se observan restos vegetales y vetillas de yeso secundario.

El depósito de la formación se dio en un sistema de frente deltáico proximal con pérdidas de energía del flujo, múltiples episodios de erosión y depositación durante los periodos de actividad mareal. Existió actividad volcánica sincrónica con el depósito de los sedimentos. Se presentaron eventos fluviales catastróficos sin mayor retoque de oleaje reflejados en los canales arenosos. A tope se observan barras de desembocadura del frente deltáico lo que reflejaría una progradación del delta.

El relleno sedimentario continua con la Formación Santo Domingo – Miembro Yeso que presenta una Asociación de Facies de Planicie de Marea supramareal (APMu), donde predominan las facies limolíticas y lutíticas con varios niveles con nódulos calcáreos y lutíticos. Se observan niveles de yeso de poca potencia.

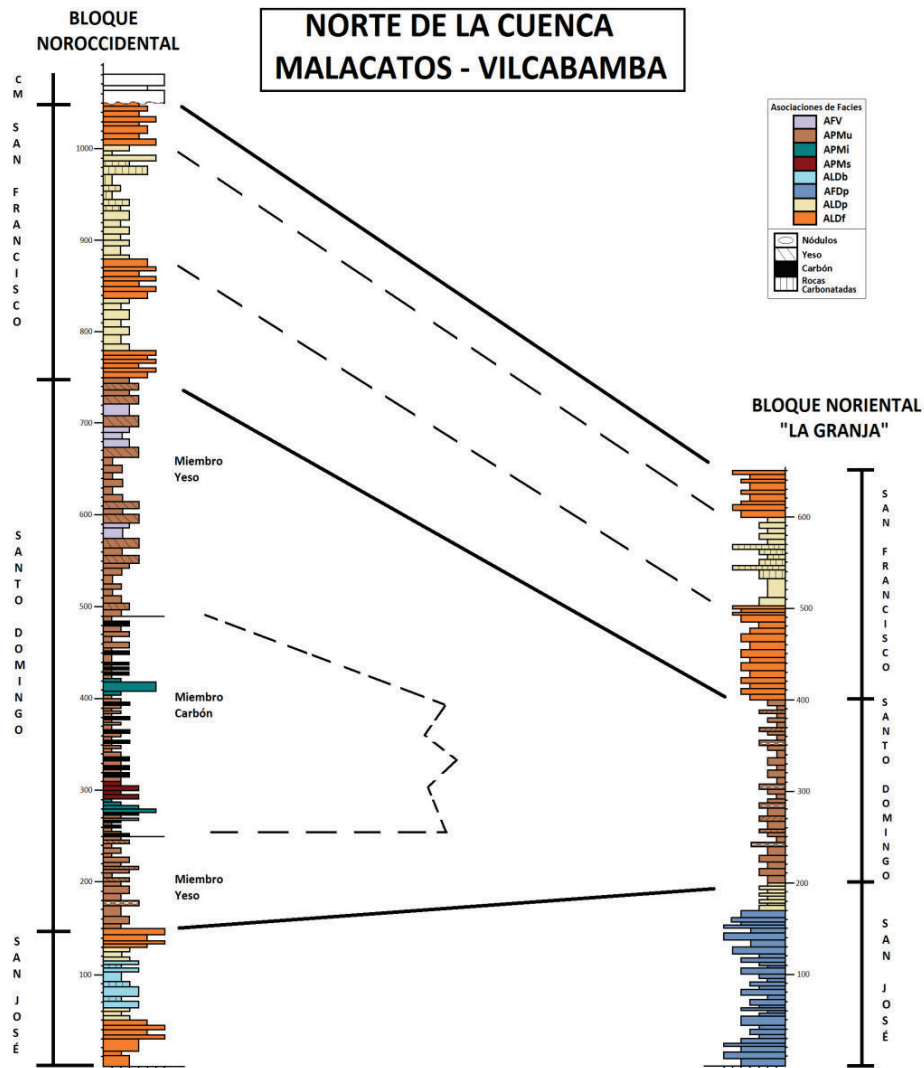
Basado en esta asociación, se infiere que el depósito se dio en una planicie de marea con exposiciones prolongadas a condiciones áridas y gran cantidad de drenajes impedidos.

Cerrando el bloque, la Formación San Francisco exhibe intercalaciones de asociaciones de Llanura Deltáica fluvial (ALDf), con facies areniscosas intercaladas con facies limolíticas y conglomeráticas, y asociaciones de Facies de Llanura Deltáica palustre (ALDp), con facies limolíticas y areniscosas. Además, se observan facies carbonatadas con fósiles dispersos, restos vegetales y estratos centimétricos de tufitas. Se aprecian pequeños deslizamientos sinsedimentarios o slumps limitados por estratos sin deformación y a tope se exhibe un cambio importante en el aumento de facies conglomeráticas.

Esta formación, en este bloque, se depositó en una llanura deltáica predominantemente fluvial con canales abandonados y etapas palustres de corta duración, se infiere una fuerte influencia mareal. Los slumps denotan la inestabilidad gravitacional de los sedimentos causados posiblemente por sismos o deformación sinsedimentaria en la cuenca.

Resumen

En la base del bloque noroccidental se exhiben facies de llanura deltaica, en las que se observa el tránsito de una llanura deltaica superior a facies de bahía interdistributaria, regresando a techo a facies de llanura deltáica dominada por la acción fluvial. Sobre este cuerpo deltáico se tuvo el depósito de una planicie de marea que inicialmente estuvo expuesta a condiciones áridas, luego a condiciones húmedas (pantanos) y finalmente a condiciones áridas, en todo este periodo se tuvo tectonismo y volcanismo activo. A tope se exhibe un cuerpo deltáico con una fuerte influencia mareal que se cierra con depósitos deltáicos gruesos.



Para el bloque La Granja se tiene una gran secuencia granocreciente, que podría interpretarse como la progradación de un cuerpo deltáico, debido a que se tratan de barras de desembocadura (frente deltáico) y a techo aparecen facies de llanura deltáica (canales distribuidores). Sobre este cuerpo deltáico se tiene una planicie de marea expuesta a condiciones áridas, un volcanismo recurrente y una tectónica activa. El relleno se cerró con un cuerpo deltáico que vio afectado por una influencia mareal recurrente y una tectónica activa.

Sintetizando los resultados se determinó que la Formación San José se depositó en un sistema deltáico con influencia mareal y esporádico desarrollo de marismas o lagoons en las bahías interdistributarias. La Formación Santo Domingo se

depositó en un sistema de planicie mareal que sufrió condiciones áridas (Miembro Yeso) e intervalos donde hubo una importante presencia de pantanos (Miembro Carbón), además de existir una importante actividad volcánica y tectónica sincrónica al depósito de los sedimentos. La Formación San Francisco se depositó en un sistema deltáico con influencia mareal y una continua actividad volcánica y tectónica. La diferencia de espesores entre las formaciones en los bloques, slumps y pliegues sinsedimentarios denotan la deformación sinsedimentaria.

De lo referido se interpreta que todos los sedimentos de la zona de estudio representan una zona de transición marino – continental. La Formación San José presenta una asociación Continental – Marino – Continental, la Formación Santo Domingo presenta una asociación predominante Continental, la Formación San Francisco una Asociación Continental – Marino – Continental.

5.2 MODELO DE EVOLUCIÓN

El relleno sedimentario del norte la cuenca de Malacatos Vilcabamba, se dio sobre un basamento metamórfico formado por la Unidad paleozoica Chigüinda y la Unidad triásica Tres Lagunas y sobre un basamento volcánico constituido por la Formación Loma Blanca de edad Eoceno – Oligoceno.

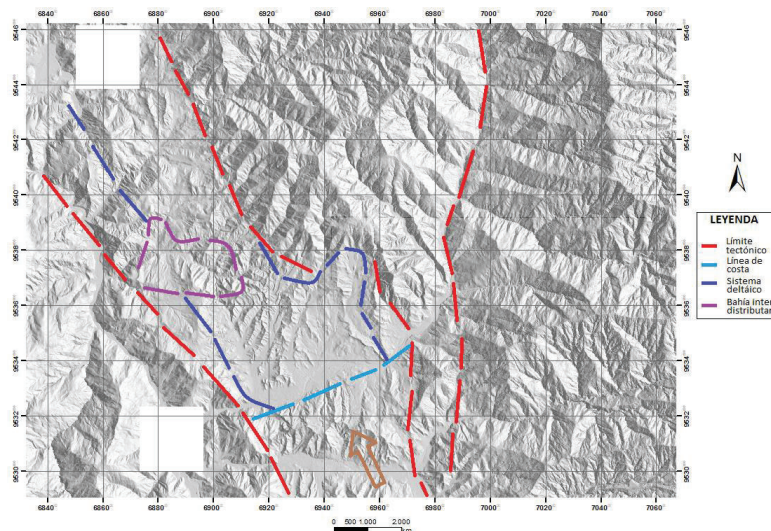


Figura 5.4 Paleogeografía de la zona de estudio hace ~ 14 Ma
Formación San José exhibiendo un sistema deltáico con bahías interdistributarias e influencia mareal

Para el Mioceno medio (~ 14 Ma) inicia el depósito sedimentario, representado inicialmente por la Formación San José, en un medio continental que pasa a un medio de transición costera, con el desarrollo de deltas con influencia mareal y esporádicos marismas o lagoons en bahías interdistributarias que eran invadidas por el mar durante episodios transgresivos. El delta actúo desde el SE hacia el NW con diferentes tipos de aporte pudiendo sugerir un sistema de drenaje era radial – centrípeto, donde se tuvo pérdidas de energía del flujo, múltiples episodios de erosión y depositación durante los periodos de actividad mareal, además de actividad volcánica y eventos fluviales catastróficos sin mayor retoque de oleaje. A tope se tuvo una progradación del delta (Figura 5.4).

Hacia los 13 Ma, aproximadamente, se tuvo un cambio gradual a un medio netamente continental, en un sistema de depósito de planicie de marea (Formación Santo Domingo) con importantes variaciones en las condiciones de exposición y en la actividad tectónica y volcánica. Se tuvieron condiciones áridas (Miembro Yeso) a base y a techo con un periodo intermedio de condiciones húmedas – tropicales (Miembro Carbón). También pone de manifiesto la existencia de una inestabilidad tectónica que produce movimientos sinsedimentarios, que produjeron cuñas sedimentarias con grandes variaciones de espesor. El volcanismo se incrementó hacia los 12 Ma aproximadamente (Figura 5.5).

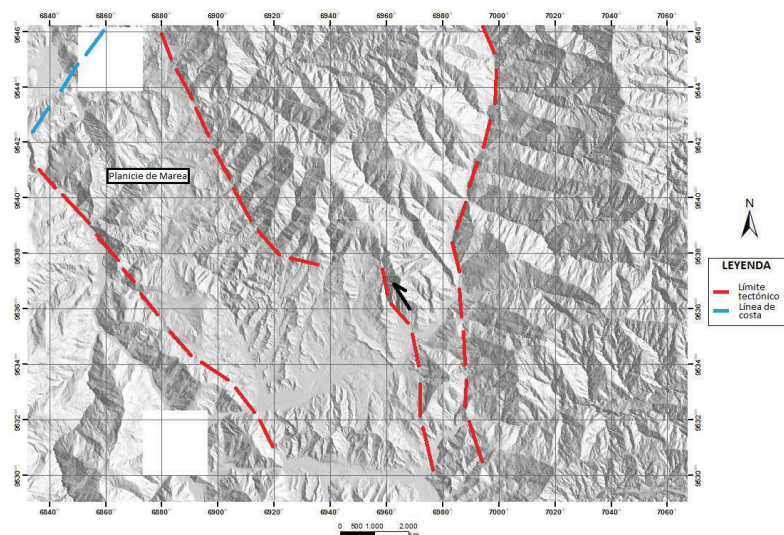


Figura 5.5 Paleogeografía de la zona de estudio hace ~ 13 Ma
Formación Santo Domingo – Sistema de planicie mareal

Cerrando la secuencia para el Mioceno tardío (~11 Ma) se tuvo el depósito sedimentario, representado por la Formación San Francisco, en un medio de transición costera con el desarrollo de deltas con influencia mareal invadidas por el mar durante cortos episodios transgresivos. La actividad tectónica y volcánica disminuyó considerablemente (Figura 5.6).

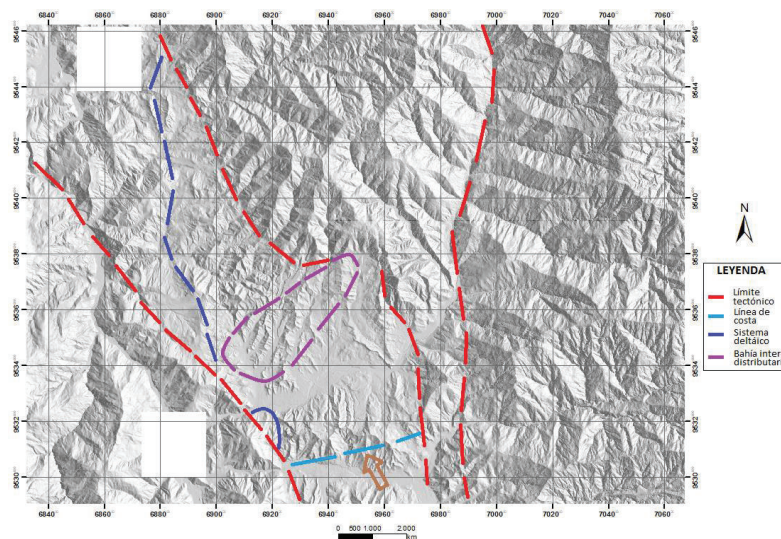


Figura 5.6 Paleogeografía de la zona de estudio hace ~ 11 Ma Formación San Francisco exhibiendo un sistema deltaico con bahías interdistributarias e influencia mareal

El cierre de la cuenca empieza hace aproximadamente 7 Ma con el depósito desde el SW de la Formación Cerro Mandango y la consecuente interrupción de la conexión con el mar (Figura 5.7).

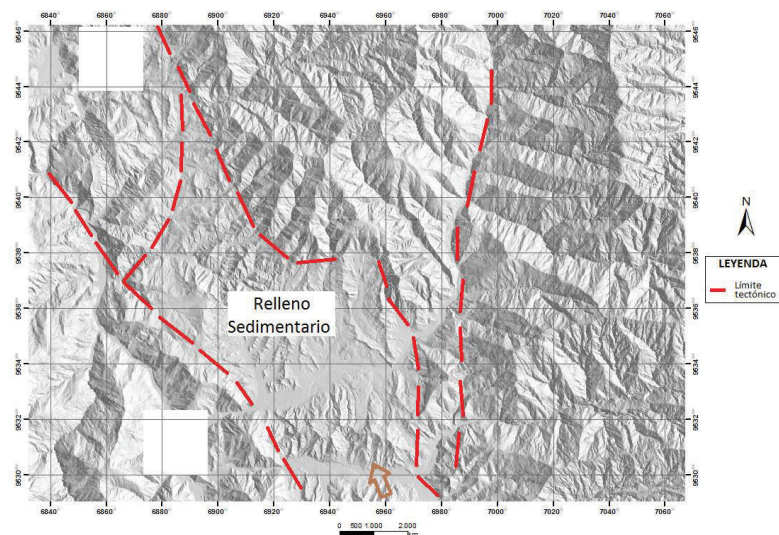


Figura 5.7 Paleogeografía de la zona de estudio hace ~ 7 Ma Formación Cerro Mandango – Cierre de cuenca

Posterior a la depositación sedimentaria esfuerzos compresivos generan fallas inversas con dirección NW – SE, que provocan el levantamiento de las formaciones basales en el denominado bloque nororiental “La Granja” (Figura 5.8).

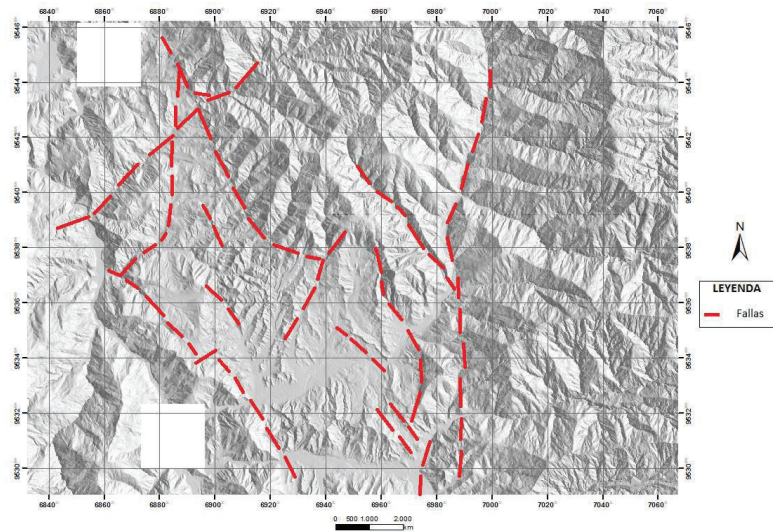


Figura 5.8 Geografía actual de la zona de estudio

5.3 DISCUSIÓN

El estudio de las cuencas intramontañosas en el Ecuador, se ha enfocado en incrementar el conocimiento geológico de las zonas involucradas y en la búsqueda de recursos minerales no metálicos para la explotación económica. Dentro del estudio geológico, la discusión se ha centrado en determinar la secuencia sedimentaria, el origen de los sedimentos y en la evolución tectónica asociada a la sedimentación.

Para la cuenca Malacatos – Vilcabamba, Corrochano (2014) determinó que la secuencia sedimentaria completa para la cuenca está formada, de base a techo, por las formaciones San José, Santo Domingo, San Francisco y Cerro Mandango.

Las primeras observaciones realizadas sugirieron una edad neógena referencial para el relleno sedimentario (Bristow y Hoffstetter, 1977). Esta información fue mejorada al determinar, con estudios paleontológicos y correlaciones con las cuencas de Loja y Cuenca, que las formaciones eran miocénicas (Kennerley, 1973). Hungerbühler (1997) y Hungerbühler y otros (2002) determinaron,

mediante dataciones radiométricas en trazas de fisión (ZFT) que las formaciones sedimentarias eran del Mioceno medio – tardío (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Resumen de dataciones radiométricas ZFT (Hungerbühler, 1997; Hungerbühler y otros, 2002)

Formación	Edad
San José	13,5 ±1,2 – 13,1 ±1,8
Santo Domingo	14,8 ± 5,4 – 12,0 ± 1,2
San Francisco	12,6 ± 2,6 – 11,2 ± 1,2

La revisión de las mencionadas dataciones presenta problemas en su interpretación secuencial debido a que, en general, se tiene una superposición entre los datos referidos para todas las formaciones sedimentarias. Esta problemática fue solucionada por los autores mediante una interdigitación entre las formaciones San José y Santo Domingo.

Las evidencias en campo y el estudio sedimentológico no muestran la mencionada interdigitación, sino la evolución consistente y alternada de dos sistemas de depósito, deltáico con influencia mareal y planicie de marea, afectados por transgresiones y regresiones marinas. Esto determinaría que las dataciones son referenciales para el depósito de los sedimentos y no definen directamente a las formaciones sedimentarias. Las inconsistencias respecto a las observaciones en campo y las dataciones radiométricas ZFT fueron estudiadas y comparadas con mayor detalle por Verdezoto (2006) para la cuenca de Cuenca, definiendo criterios similares a los expuestos en este trabajo para la cuenca Malacatos – Vilcabamba.

Sobre la naturaleza de los sedimentos, inicialmente se los consideró continentales o intramontañosos (Kennerley, 1973) y de un ambiente fluvio – lacustre (Fierro, 1991). Al realizarse nuevos estudios paleontológicos y sedimentológicos, se determinó que el depósito se dio en un ambiente de margen costero (I.I.C, 1985; Hungerbühler, 1997; Hungerbühler y otros, 2002; Corrochano, 2014). El presente trabajo corrobora el ambiente costero y estudia con mayor detalle los sistemas de depósito, determinando que se tuvo un sistema deltáico con bahías interdistributarias e influencia mareal (Formaciones San José y San Francisco) y un sistema de planicie de marea (Formación Santo Domingo).

Estructuralmente la cuenca presenta límites tectónicos y fallas intracuenca que fueron previamente referenciadas (Kennerley, 1973; Fierro, 1991; Hungerbühler, 1997; Hungerbühler y otros, 2002). Fue planteada la repetición de las formaciones sedimentarias al occidente y al oriente del norte de la cuenca causada por un falla N – S (Kennerley, 1973; Fierro, 1991) o por la falla Picota (Hungerbühler, 1997; Hungerbühler y otros, 2002). El presente trabajo determinó que los límites y la relación entre los bloques noroccidental y nororiental “La Granja” son, exclusivamente, tectónicos. Además, se determinó que la Falla Picota tiene una relación únicamente tectónica con el Bloque La Granja y no genera ninguna repetición sedimentaria.

Únicamente se han descrito fallas aisladas, pero no se las ha incluido dentro de una deformación regional. En el presente trabajo ha caracterizado, además de las fallas, episodios de deformación claramente diferenciables, la deformación sinsedimentaria producida simultáneamente con la depositación de los sedimentos, el basculamiento regional de la cuenca hacia el este ($83^{\circ}/41^{\circ}$, Figura 4.10) observado en el bloque noroccidental y finalmente el basculamiento del bloque La Granja hacia el noreste ($41^{\circ}/37^{\circ}$; Figura 4.13). El bloque “La Granja” refleja la actividad tectónica en un periodo de compresión posterior al depósito del relleno miocénico de la cuenca.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El norte de la cuenca neógena Malacatos – Vilcabamba se divide tectónicamente en dos bloques netamente estructurales. Los límites del bloque noroccidental son las fallas El Tambo y San Agustín, al norte; San Francisco, al este y Solanda, al oeste. Para el bloque nororiental los límites vienen definidos por las fallas San Francisco, al este; Loja, al oeste y Picota al sur.
- El basamento metamórfico está conformado por la Unidad triásica Tres Lagunas, que aflora al noreste y sur del bloque noroccidental, y por la Unidad paleozoica Chigüinda, que se exhibe al noreste y este del bloque nororiental. Ambas unidades pertenecen al Terreno Loja en la Cordillera Real.
- El basamento volcánico está representado por la Formación Loma Blanca, de edad Eoceno – Oligoceno, que aflora al oeste del bloque noroccidental.
- La secuencia sedimentaria completa de la cuenca está formada, de base a techo, por las formaciones San José, Santo Domingo, San Francisco y Cerro Mandango. En el bloque noroccidental se exhibe la secuencia completa mientras en el bloque nororiental no aflora la Formación Cerro Mandango.
- La Formación San José se depositó en un sistema deltáico con influencia mareal y esporádicos desarrollo de marismas o lagoons en bahías interdistributarias. El régimen inició con una llanura deltáica con canales fluviales y planicies afectadas por variaciones periódicas del nivel de base y salinidad que cambió a una bahía interdistributaria y se cerró con una llanura deltáica con irrupción de canales gravosos y amplias zonas de exposición (bloque noroccidental). En el bloque nororiental se desarrolló frente deltaico proximal.
- La Formación Santo Domingo se depositó en una planicie de marea expuesta a condiciones secas – áridas (Miembro Yeso) y a condiciones

húmedas – pantanosas (Miembro Carbón). La Formación San Francisco se depositó en una llanura deltáica fluvial con canales abandonados, etapas palustres de corta duración e influencia mareal. Existieron cambios esporádicos hacia marismas o lagoons.

- La Formación Cerro Mandango aflora pobremente en el bloque noroccidental, ubicándose los mejores afloramientos al centro sur de la cuenca. De observaciones someras se infiere la posibilidad de un sistema deltáico de grano grueso asociado a Deltas de tipo Gilbert o un sistema de abanicos aluviales.
- En el norte de la cuenca Malacatos – Vilcabamba todos los sedimentos representan una zona de transición marino costera. Donde la Formación San José presenta una asociación Continental – Marino – Continental, la Formación Santo Domingo una asociación predominante Continental y la Formación San Francisco una Asociación Continental – Marino – Continental.
- Los sistemas de depósito de la zona de estudio están asociados a un medio de delta mareal que exhibe una llanura deltáica con esporádicos desarrollo de marismas o lagoons en bahías interdistributarias (San José y San Francisco) y frente deltáico proximal (San José), interrumpido por un sistema de planicie de marea (Santo Domingo).
- Se desarrolló un volcanismo sincrónico a la depositación del relleno sedimentario cuya actividad se incrementó en el límite de depósito de las formaciones Santo Domingo y San Francisco (~ 12 Ma).
- Las cuñas sedimentarias con grandes variaciones de espesor (Formación Santo Domingo) y estructuras sinsedimentarias (pliegues sinsedimentarios y slumps) producto de inestabilidad tectónica, reflejan la deformación sinsedimentaria.
- Se identifican claramente tres episodios de deformación, la deformación sinsedimentaria, el basculamiento regional de la cuenca hacia el Este ($83^{\circ}/41^{\circ}$) observado en el bloque noroccidental y el basculamiento del bloque La Granja hacia el Noreste ($41^{\circ}/37^{\circ}$).

BIBLIOGRAFÍA

Aspden, J.A., Harrison, S.H. y Rundle, C.C.(1992). New geochronical control for the tectono–magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and El Oro Province of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 6, No.1/2, pp. 77 – 96. Pergamon Press Ltd. & Earth Sciences & Resources Institute. Great Britain.

Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador*. Boletín, Londres – Reino Unido.

Baldock, J. (1982). National Geological Map of the Republic of Ecuador, Escala 1:1.000.000. Quito – Ecuador: DGGM - IGS.

Boggs, S.(2006). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy – Fourth Edition*. United States of America: Pearson Education.

Bristow, C.y Hoffstetter, R. (1977). *Lexique Stratigraphique International; Ecuador. Second Edition*. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique.

CEDE (2012). Capítulo 2 Las grandes unidades morfoestructurales del planeta tierra. Estructuras y relieves. Madrid – España: CEDE. Recuperado el 10 de junio de 2015, http://www.cede.es/n_temas_2012/t2_geografia.pdf

Corrochano, D. (Septiembre, 2014). Geología Sedimentaria y Sedimentología dentro del Proyecto del Mapeo Geológico a Nivel Nacional a escala 1:50.000. Informe Técnico PROMETEO – INIGEMM, pp. 37.

Cueva, J. y Chalán, L. (2010). Cobertura Vegetal y Uso Actual del Suelo de la Provincia de Loja (Informe técnico). Departamento de Sistemas de información Geográfica de Naturaleza & Cultura Internacional. Gráficas Amazonas. Loja – Ecuador.

Corrales, I., Rosell, J., Sánchez, L., Vera, J. y Vilas, L. (1977). *Estratigrafía*. Ed. Rueda, Madrid – España.

Dabrio, C. (2010). Capítulo XII Plataformas siliciclásticas. Editor Arche, A., Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 503 – 560pp.

Davis, R. y Dalrymple, R. (2012). Principles of Tidal Sedimentology. United States of America: Springer.

Dunkley, P. y Gaibor A. (1997a). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2° and 3° S. Report No. 2. Open File Report WC/97/26. CODIGEM – British Geological Survey. Quito – Ecuador, 145 pp.

Dunkley, P. y Gaibor A. (1997b). Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 2° – 3° S, Escala 1:200.000. CODIGEM – Ministry of Energy and Mineral Resources – British Geological Survey Publications, Quito – Ecuador.

Égüez A. y Poma O. (Abril, 2001). La Cuenca Alamor – Lancones en el Contexto Geodinámico de los Andes de Huancabamba, SW Ecuador. Cuartas Jornadas en Ciencias de la Tierra, Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, 4 pp.

Égüez, A., Alvarado, A. y Yepes, H. (2003). Mapa de Fallas Activas y Pliegues Cuaternarios de Ecuador y Regiones Oceánicas adyacentes. Recuperado el 15 de febrero del 2015, <http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-289/>

Fierro, J. (1991). Evolución Geodinámica Neógena de la Cuenca Intramontañosa de Malacatos – Vilcabamba, Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, 114 pp.

Hungerbühler, D. (1997). Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador (3°00'-4°20'): sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. PhD Thesis, Institute of Geology ETH, Zürich, Switzerland, 182 pp.

Hungerbühler D., Steinmann, M., Winkler W., Seward D., Égüez A., Peterson D.E., Helg U. y Hammer C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador, Earth Science Reviews 57, 75 – 124 pp.

I.I.C. (Febrero, 1985). Estudio de Investigación de yesos a nivel de prospección y exploración. Informe Fase I – Zona 1 Cuenca Malacatos. Ministerio de Recursos

Naturales y Energéticos – Dirección General de Geología y Minas. Quito – Ecuador.

I.I.C. (Febrero, 1985). Estudio de Investigación de yesos a nivel de prospección y exploración. Informe Fase 2a – Área Milo. Tomo I. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos – Dirección General de Geología y Minas. Quito – Ecuador.

INIGEMM (en preparación). Memoria técnica Gonzanamá 1:50.000. Quito – Ecuador.

INIGEMM (en preparación). Memoria técnica Nambacola 1:50.000. Quito – Ecuador.

Instituto Nacional de Estadística y Censos – INEC (2010). Base Censo 2010 Spss_Loja. Recuperado el 9 de enero del 2015, <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-2010/>

Jaillard, E., Ordoñez, M., Berrones, G., Bengtson, P., Bonhomme, M., Jiménez, N. y Zambrano, I.(1996). Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of southwestern Ecuador during Late Cretaceous and Early Tertiary times. *Journal of South American Earth Sciences* 9, 131–140 pp.

Jaillard, E., Bengtson, P., Ordoñez, M., Vaca, W., Dhondt, A., Suárez, J. y Toro, J. (2008). Sedimentary record of terminal Cretaceous accretions in Ecuador Group in the Cuenca area. *Journal of South American Earth Sciences* 25 (2008), 133 – 144 pp.

Kennerley, J.B. (1973). Geology of Loja Province, southern Ecuador. Institute of Geological Sciences (Overseas Division), London. Unpublished Report 23, 34 pp.

Kennerley, J.B. y Almeida, L. (1975). Mapa geológico del Ecuador, Hoja de Loja (56), escala 1:100.000. Instituto Geográfico Militar (IGM), Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos (MRNE), Dirección General de Geología y Minas (DGGM) and Institute of Geological Sciences London (IGS).

Maldonado, N. (2014, Enero 16). El clima de Loja: Rasgos Generales. Publicación de la Casa de la Cultura “Benjamín Carrión” – Núcleo Loja. Recuperado el 20 de diciembre del 2014, <http://casadelaculturaloja.gob.ec/?p=250>

Martínez-García, B., Corrochano, D., Suárez-Hernando, O., Solís-Alulima, B., Suárez-Bilbao, A., Ordiales, A. y Murelaga, X. (en preparación). Análisis estratigráfico y micropaleontológico (Foraminíferos y ostrácodos) de secuencias del Mioceno medio – tardío del sur del Ecuador, con descripción de nuevas especies de ostrácodos. España, 58 pp.

Miall, A. (1977). Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. Recuperado el 16 de febrero del 2015, <http://www.csus.edu/indiv/h/hornert/Geol%20230%20Spring%202013/Week%201%20stream%20class/Mial%201977.pdf>

Mourier, T., Laj, C., Mégard, F., Roperch, P., Mitouard, P. y Farfán Medrano, A. (1988). An accreted continental terrane in northwestern Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 88(1988). Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam – Netherlands, 182 – 192 pp.

Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy – Second Edition*. United Kingdom: Editorial Wiley – Blackwell.

Litherland, M., Zamora, A. y Éguez, A. (1993). Mapa Geológico de la República del Ecuador, escala 1:1,000,000. England: BGS - CODIGEM.

Litherland, M., Aspden, J. y Jemielita, R. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*. Orveas Memoir of the British Geological Survey, No. 11.

Litherland, M., Aspden, J., Bermúdez, R., Viteri, F. y Pozo, M. (1990). *La Geología y Potencial Mineral de la Cordillera Real, Ecuador*. Quito: INEMIN - Misión Británica.

Putzer, H. (marzo, 1985). Lignitus Terciarios en el Graben Interandino del Ecuador como ejemplo de la formación sinérgica de carbón en cuencas

intramontañosas. *Monografía de Geología 4. Volumen X No. 1. Escuela Politécnica Nacional*, 145 – 181 pp.

Pratt, W.T., Figueroa, J.F. y Flores, B.G. (1997a). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2° and 3° S. Report No. 1. Open File Report WC/97/28. CODIGEM – British Geological Survey. Quito – Ecuador, 58 pp.

Pratt, W.T., Figueroa, J.F. y Flores, B.G. (1997b). Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 3° – 4° S, Escala 1:200.000. CODIGEM – Ministry of Energy and Mineral Resources – British Geological Survey Publications, Quito – Ecuador.

Raigemborn, M.S. (2007). Estudio Estratigráfico, Sedimentológico y Composicional de las Sedimentitas del Terciario Inferior (Grupo Río Chico) en el Sector Sudoriental del Chubut Extraandino. PhD Tesis, Universidad Nacional de La Plata. La Plata – Argentina.

Reyes, P. (2006). El complejo ofilítico Peltetec y su relación con las unidades metamórficas jurásicas de la Cordillera Real. Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, 144 pp.

Reyes, P., Michaud, F., Carbonel, P. y Fornari, M. (2008). New field studies in the Gonzanamá, Catamayo and Malacatos – Vilcabamba basins, Ecuador: Preliminary results. 7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts: 442 – 445 pp.

Rodríguez, J. y Arche, A. (2010). Capítulo XIII Deltas. Editor Arche, A., Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 561 – 618 pp.

Spikings, R., Winkler, W., Hughes, R.A. y Handler, R. (2005). Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes. *Tectonophysics* 399, 195 – 220 pp.

United Nations Development Programme (1972). Survey of Metallic and Non – Metallic Minerals (Phase II); Exploration for metallic minerals in southern Ecuador,

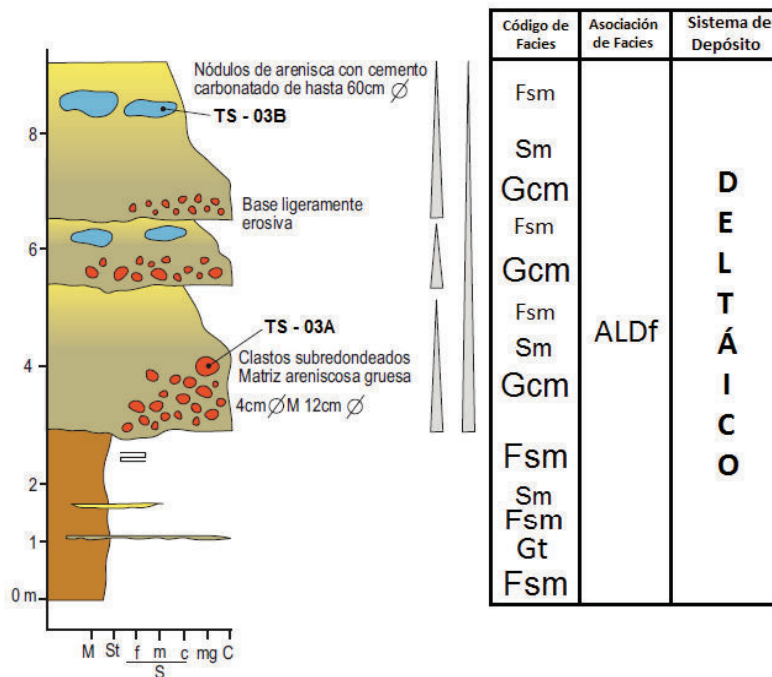
Loja – El Oro, Operation No.8, Systematic geochemical exploration and geological Reconnaissance. U.N.D.P., New York, Technical Report No.14.

Vera, J. (1994). Estratigrafía, Principios y métodos. España: Ed. Rueda, 806 pp.

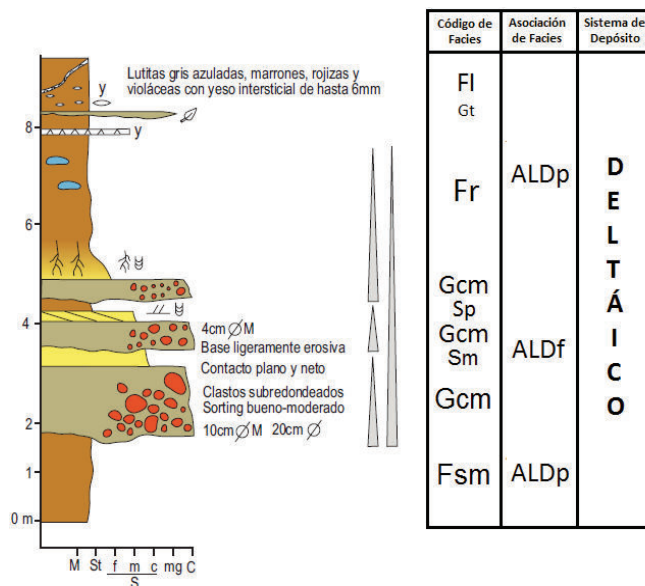
Verdezoto, P. (2006). Levantamiento geológico del sector comprendido entre las latitudes 2°37' S y 2°50' S. provincias de Cañar y Azuay, con especial enfoque sobre las secuencias miocénicas. Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, 108 pp.

Vilas, F., Bernabéu, B., Rubio, B. y Rey, D. (2010). Capítulo XIV Estuarios, rías y llanuras intermareales. Editor Arche, A., Sedimentología Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 619 – 673 pp.

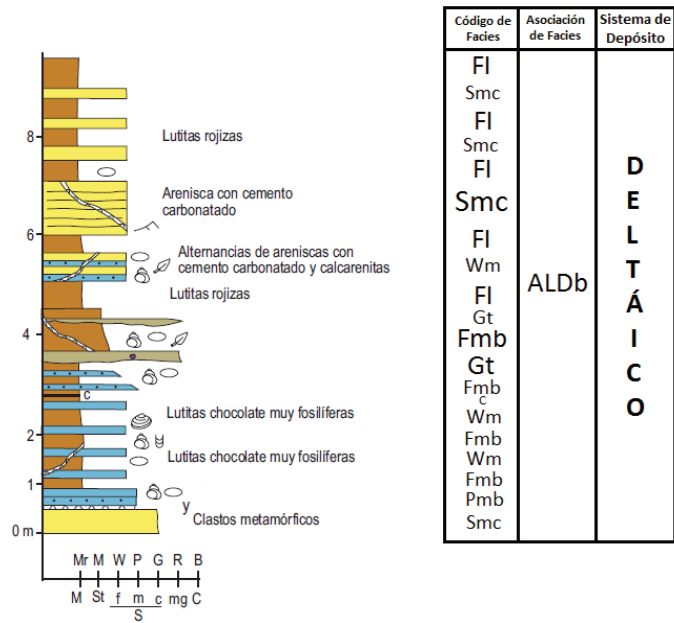
ANEXOS



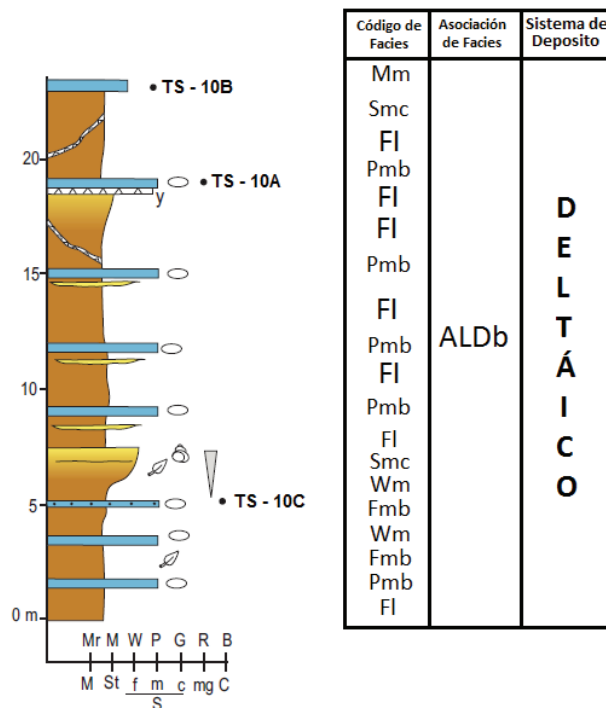
Anexo 1 Columna estratigráfica 1– Formación San José
 UTM: 687996 / 9536447– Columna mostrando llanuras deltáicas con ciclos palustres y fluviales
 Modificado de Corrochano, 2014



Anexo 2 Columna estratigráfica 2 – Formación San José
 UTM: 687911/ 9536259 – Columna mostrando llanuras deltáicas vegetadas con ciclos palustres y fluviales
 Modificado de Corrochano, 2014

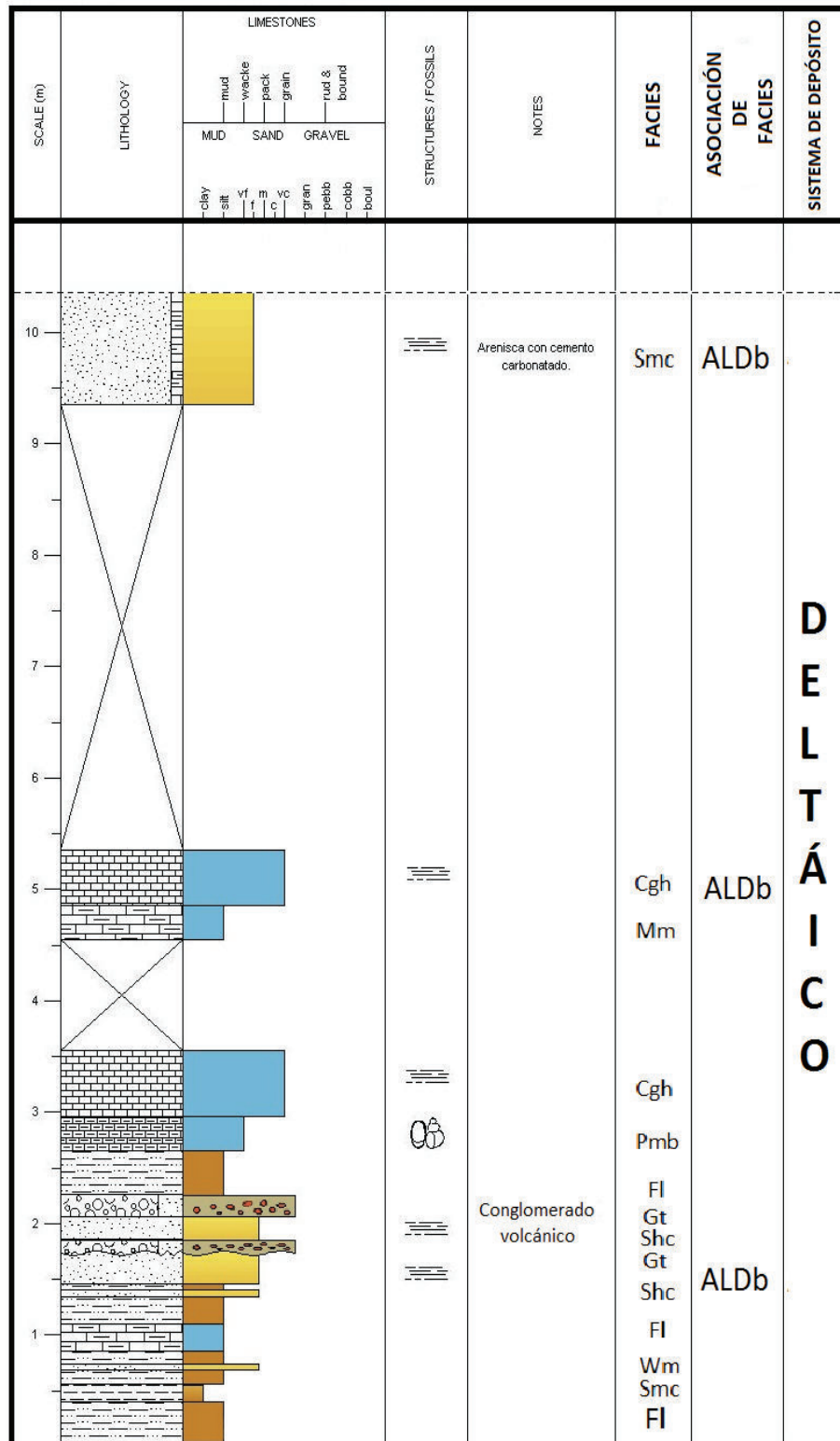


Anexo 3 Columna estratigráfica 3– Formación San José
 UTM: 687921/9536337 – Columna mostrando una bahía interdistributaria en una llanura deltáica
 Modificado de Corrochano, 2014



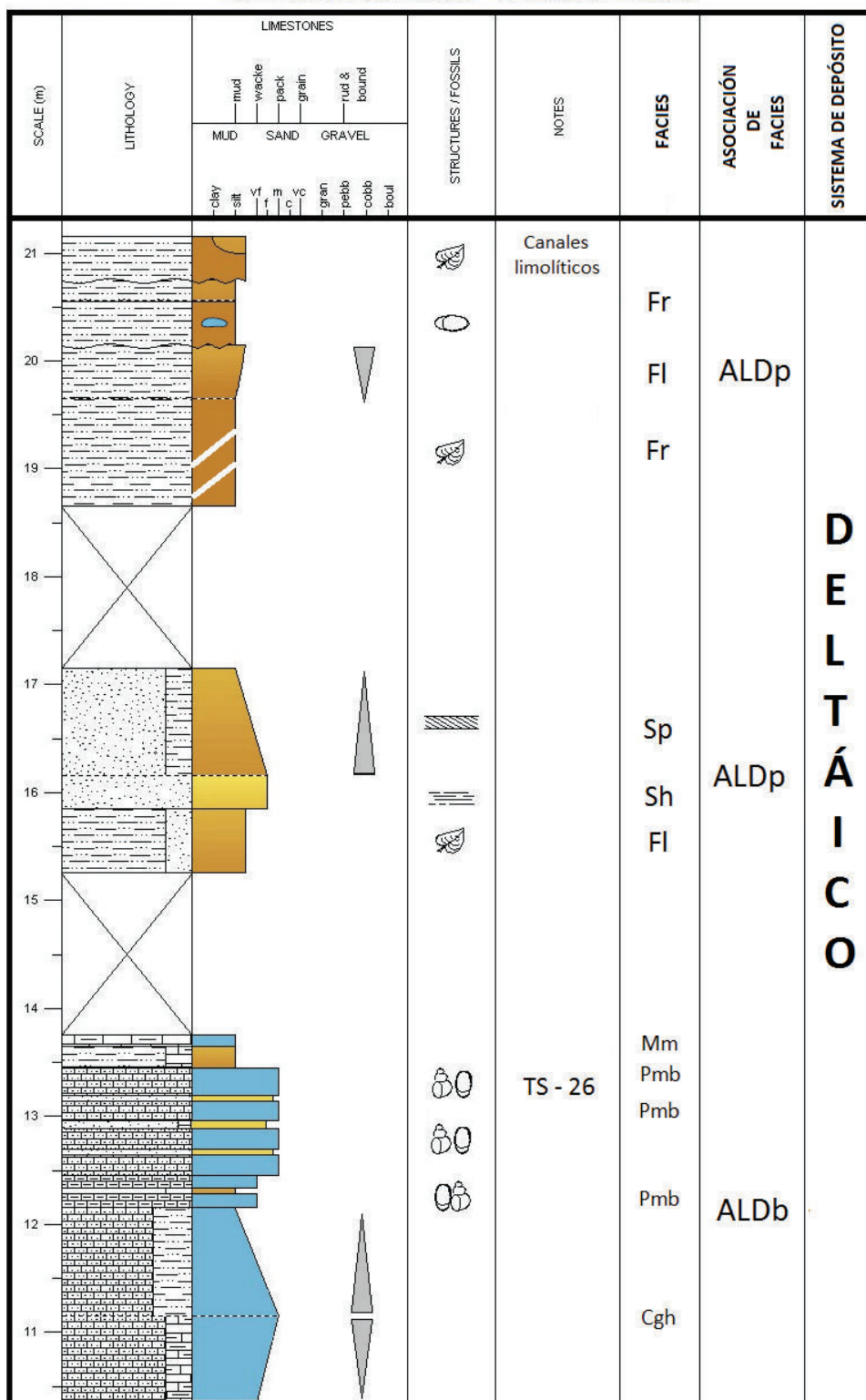
Anexo 4 Columna estratigráfica 4 – Formación San José
 UTM: 688150 / 9536751 –Columna mostrando una bahía interdistributaria en una llanura deltáica
 Modificado de Corrochano, 2014

Formación San José - Mioceno medio

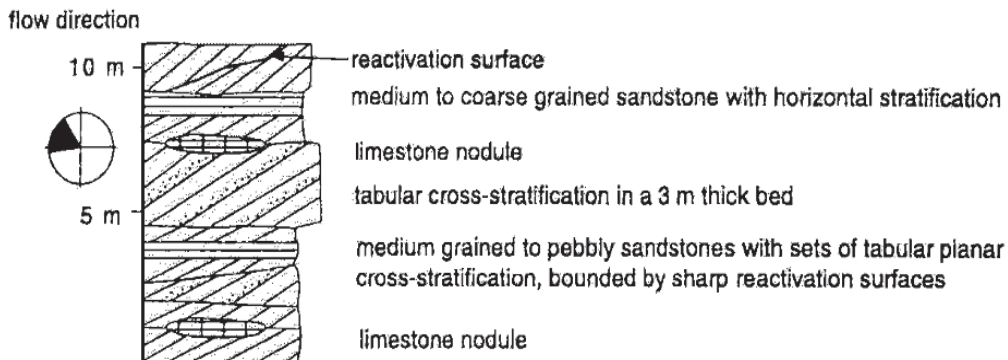


Anexo 5a Columna estratigráfica 5a – Formación San José
 UTM: 688296 / 9536758 – Columna mostrando una bahía interdistributaria en una llanura deltáica

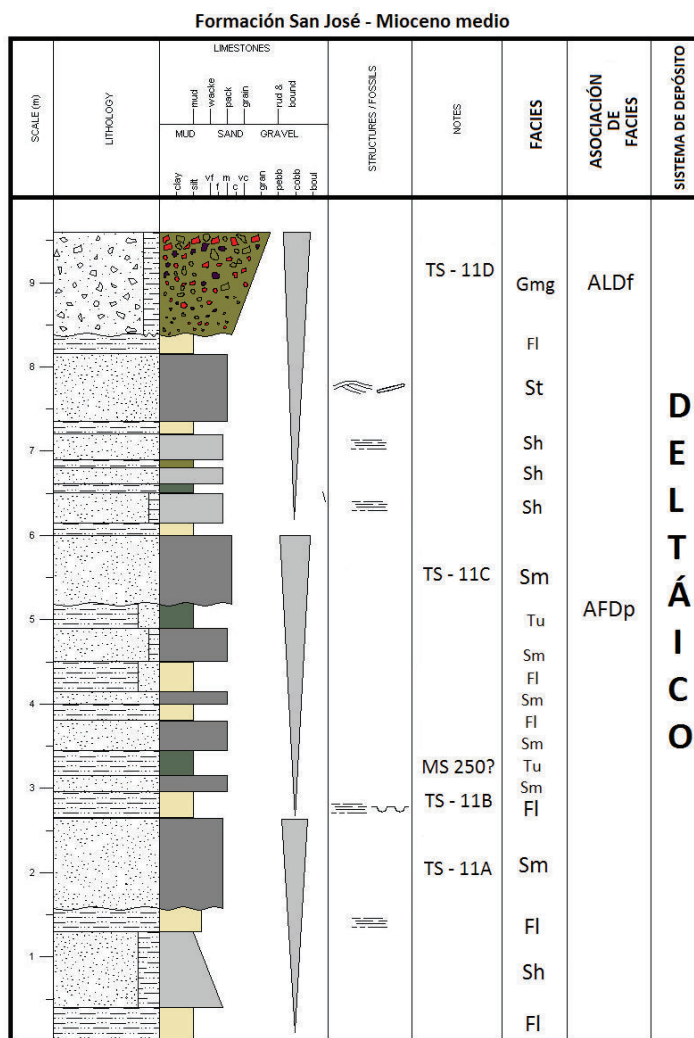
Formación San José - Mioceno medio



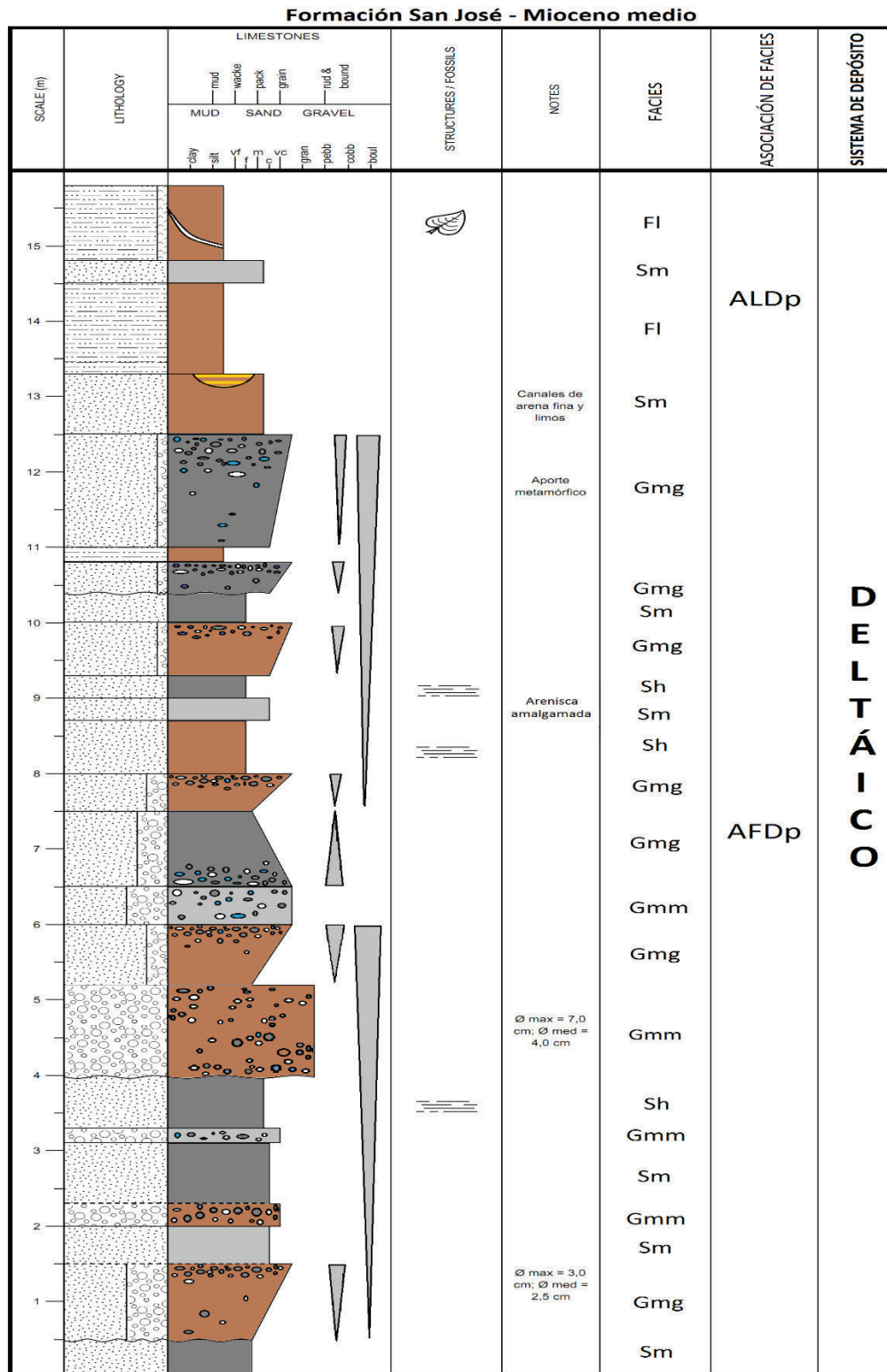
Anexo 5b Columna estratigráfica 5b – Formación San José
 UTM: 688296/9536758 – Columna mostrando una bahía interdistributaria en una llanura deltáica con cambio hacia una llanura deltáica palustre



Anexo 6 Columna estratigráfica 6– Formación San José
 UTM: 688244/ 9538115 –Compilación afloramientos en la confluencia de las quebradas Naranjo Duce y Santo Domingo
 Tomado de Hungerbühler, 1997



Anexo 7 Columna estratigráfica 7 – Fm. San José
 Sector 2 – Bloque Nororiental (UTM: 696005 / 9534261)
 Columna mostrando ciclos deltáicos proximales con desarrollo de ciclos fluviales



Anexo 8 Columna estratigráfica 8 – Formación San José

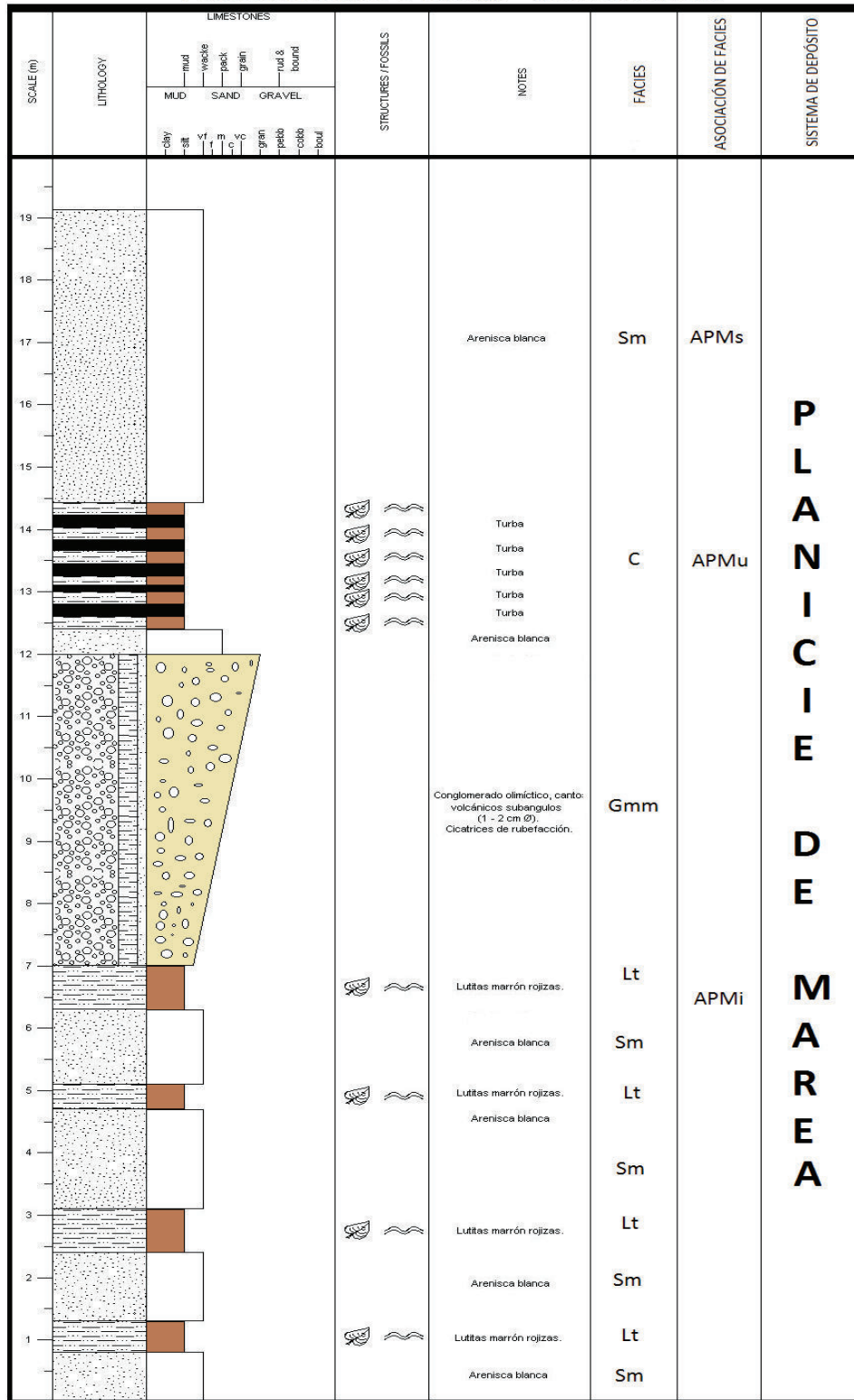
UTM: 696266 / 9534448 – Columna mostrando ciclos deltáicos proximales con barras de desembocadura (progradación de un delta), a tope un cambio a ciclos de llanura deltáica palustre

Formación Santo Domingo – Mioceno medio

SCALE (m)	LITHOLOGY	LIMESTONES						STRUCTURES / FOSSILS	NOTES	FACIES	ASOCIACIÓN DE FACIES	SISTEMA DE DEPÓSITO
		MUD		SAND		GRAVEL						
		clay	silt	vf	f	m	vc					
9										Fsm		P L A N I C I E D E M A R E A
8									Fr Fsm Fr Fsm			
7									Fr			
6									Fr			
5									Lt			
4									Lt	APMu		
3									C			
2												
1									Lt			

Anexo 9 Columna estratigráfica 9– Formación Santo Domingo
UTM: 689409 / 9542528 –Columna mostrando ciclos de planicie mareal

Formación Santo Domingo – Mioceno medio

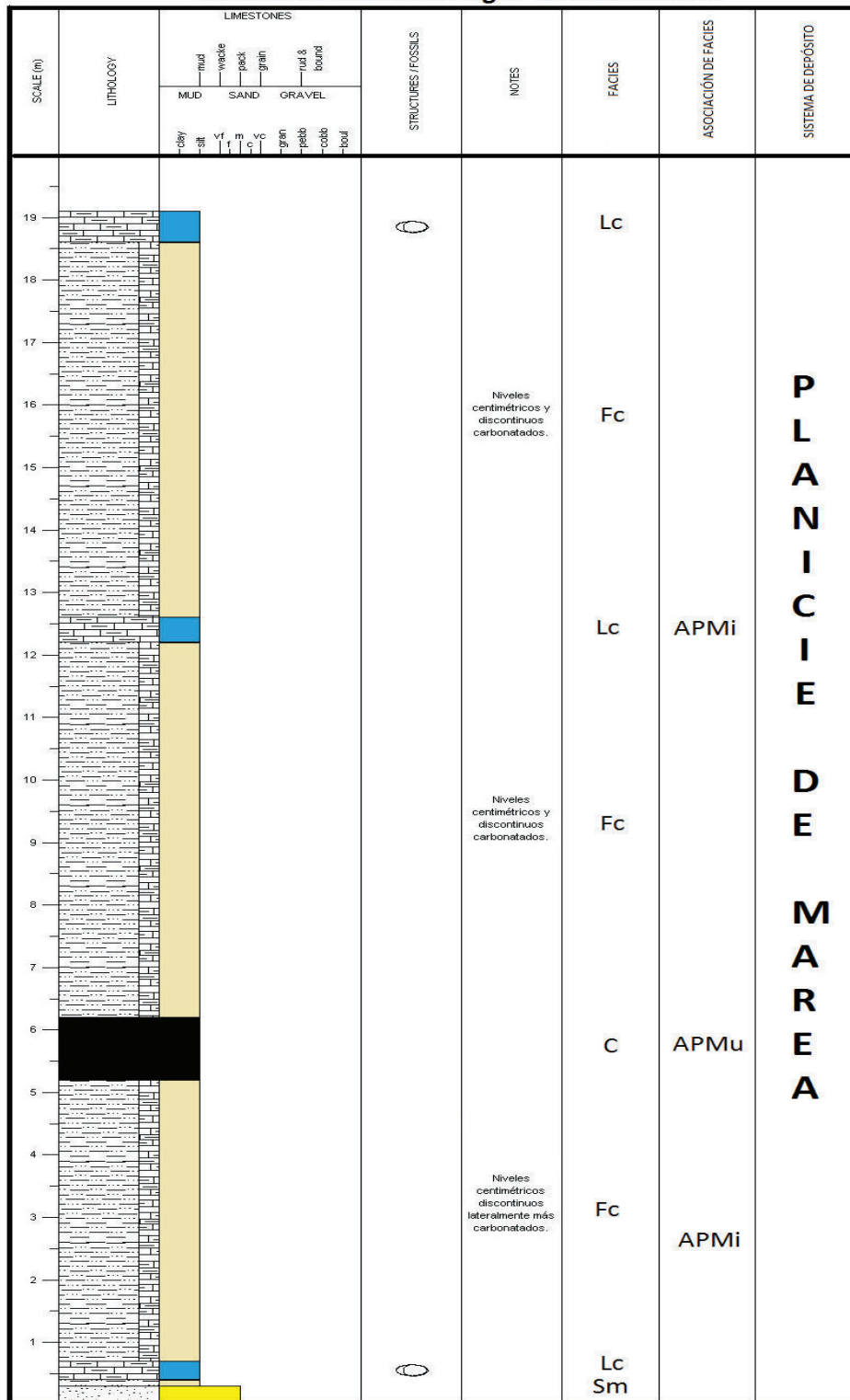


Anexo 10 Columna estratigráfica 10 – Formación Santo Domingo

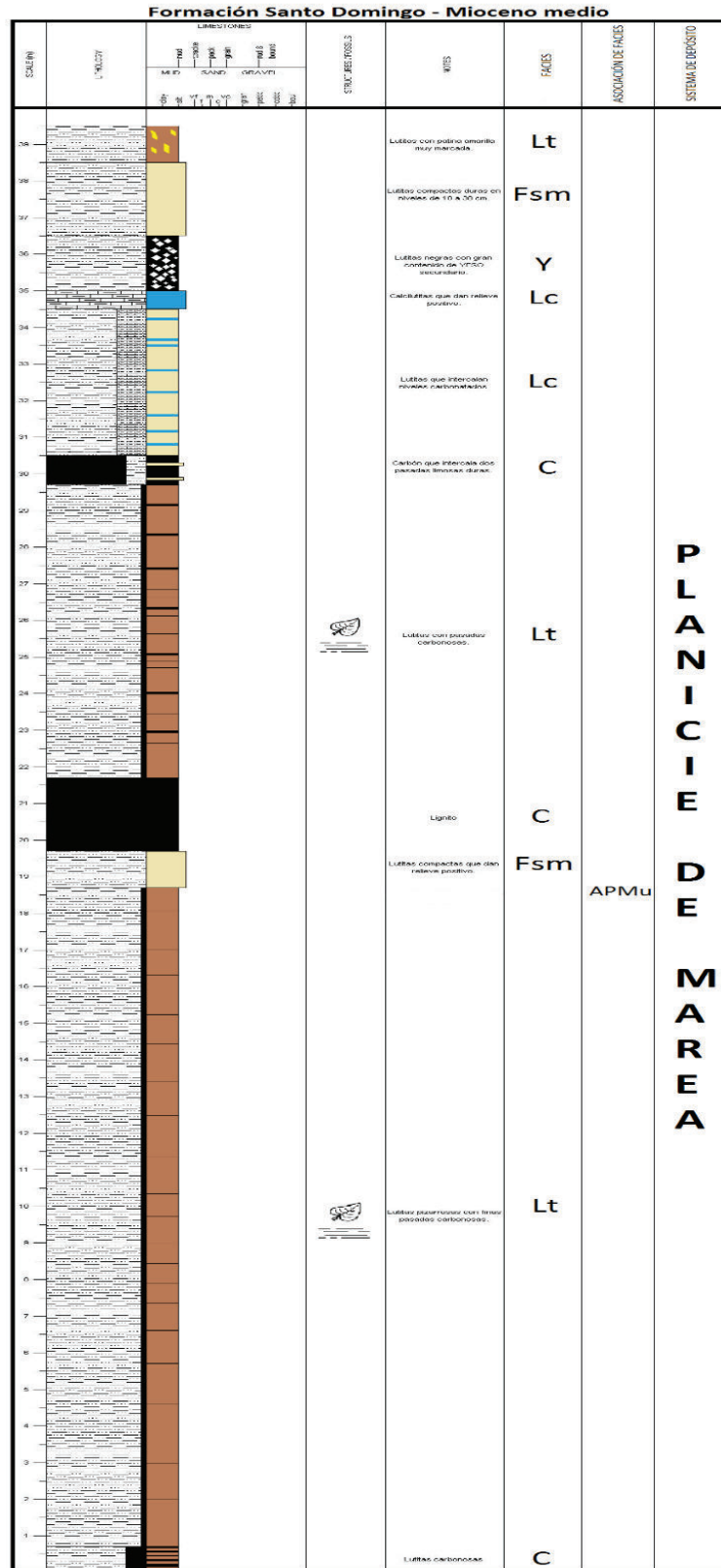
UTM: 688700 / 9542300 – Columna mostrando ciclos de planicie mareal en sus diferentes zonas

Modificada de I.I.C (1985)

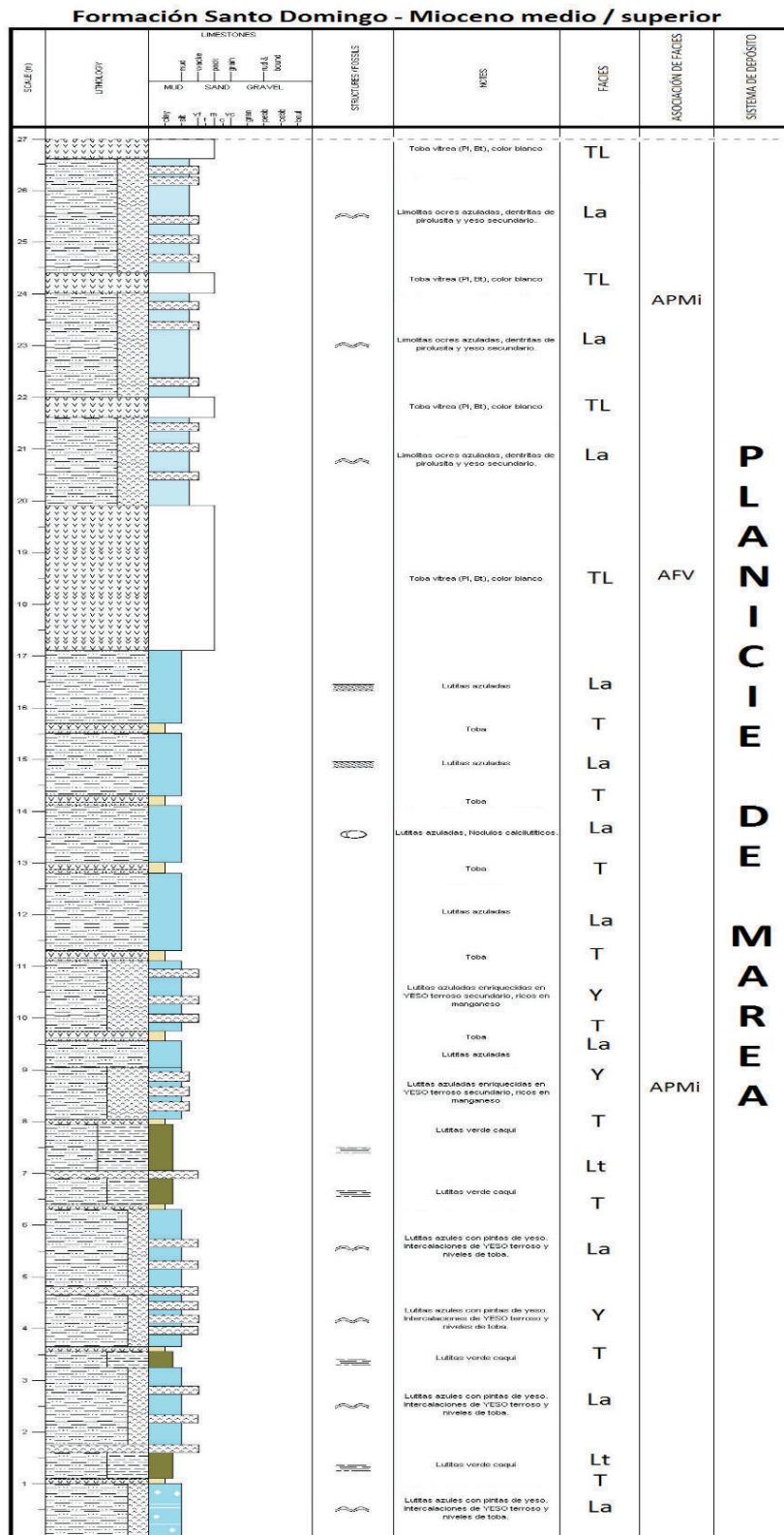
Formación Santo Domingo - Mioceno medio



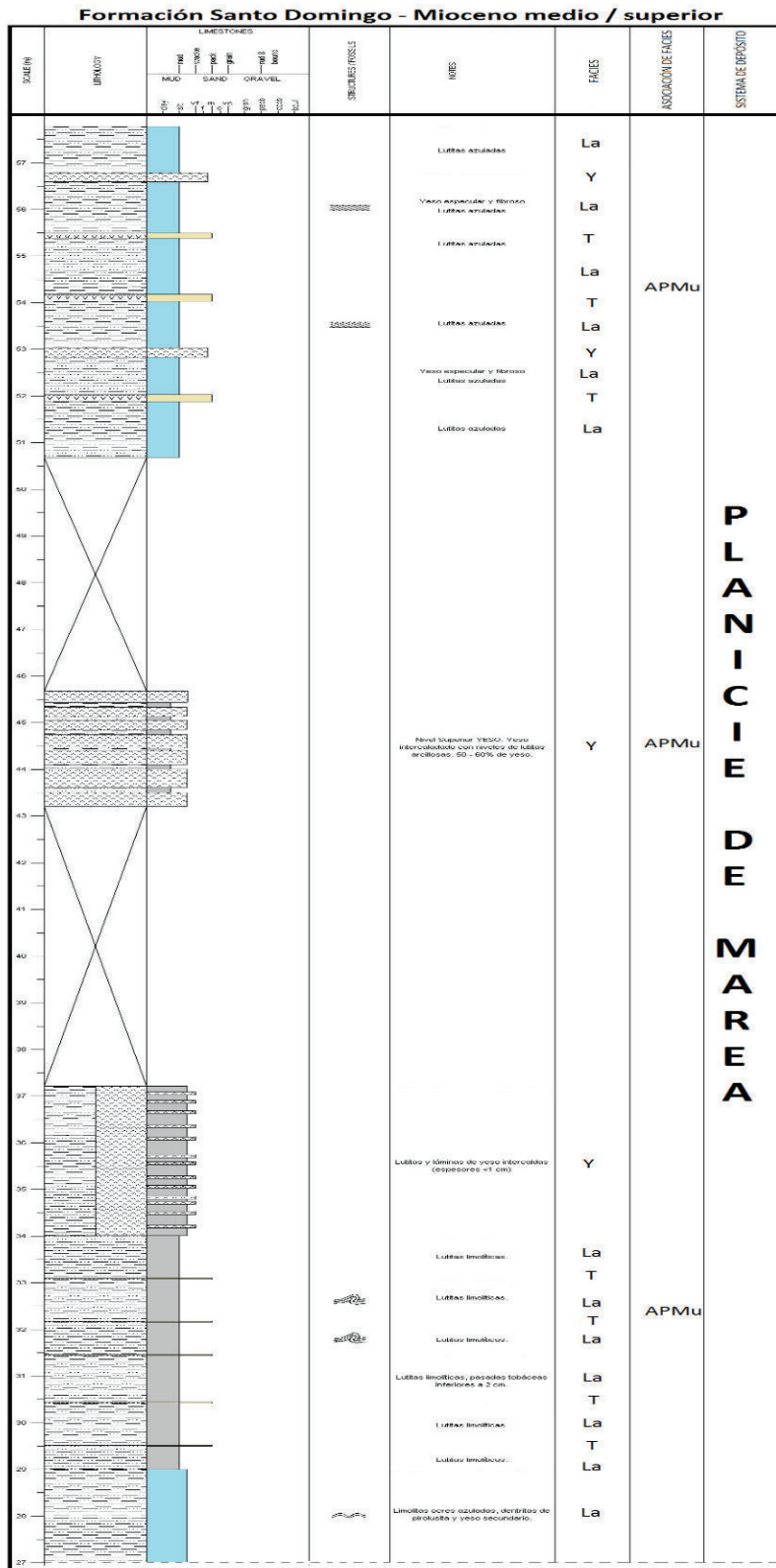
Anexo 11 Columna estratigráfica 11 – Formación Santo Domingo
 UTM: 689300 / 9538350 –Columna mostrando ciclos de planicie de marea supramareal e intermareal
 Tomado de I.I.C (1985)



Anexo 12 Columna estratigráfica 12 – Formación Santo Domingo
 UTM: 689650 / 9538550 – Columna mostrando ciclos de planicie de marea supramareal
 Tomado de I.I.C (1985)



Anexo 13a Columna estratigráfica 13a – Formación Santo Domingo
 UTM: 690100 / 9536300 – Columna mostrando ciclos de planicie mareal intermareal con exposiciones subaéreas
 Tomado de I.I.C (1985)

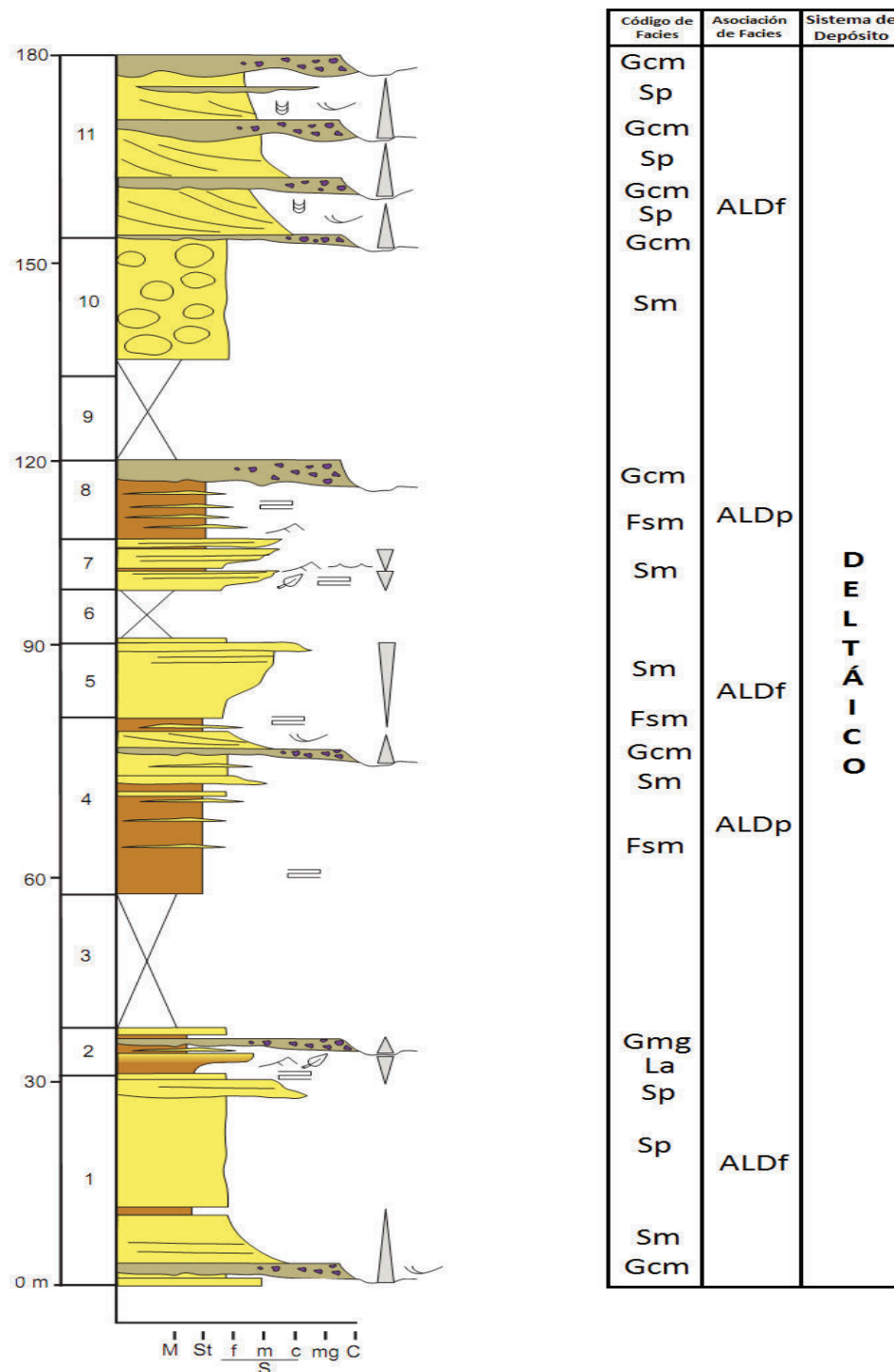


Anexo 13b Columna estratigráfica 13b– Formación Santo Domingo
 (UTM: 690100 / 9536300 –Columna mostrando ciclos de planicie de marea supramareal
 Tomado de I.I.C (1985)

Formación Santo Domingo – Mioceno medio

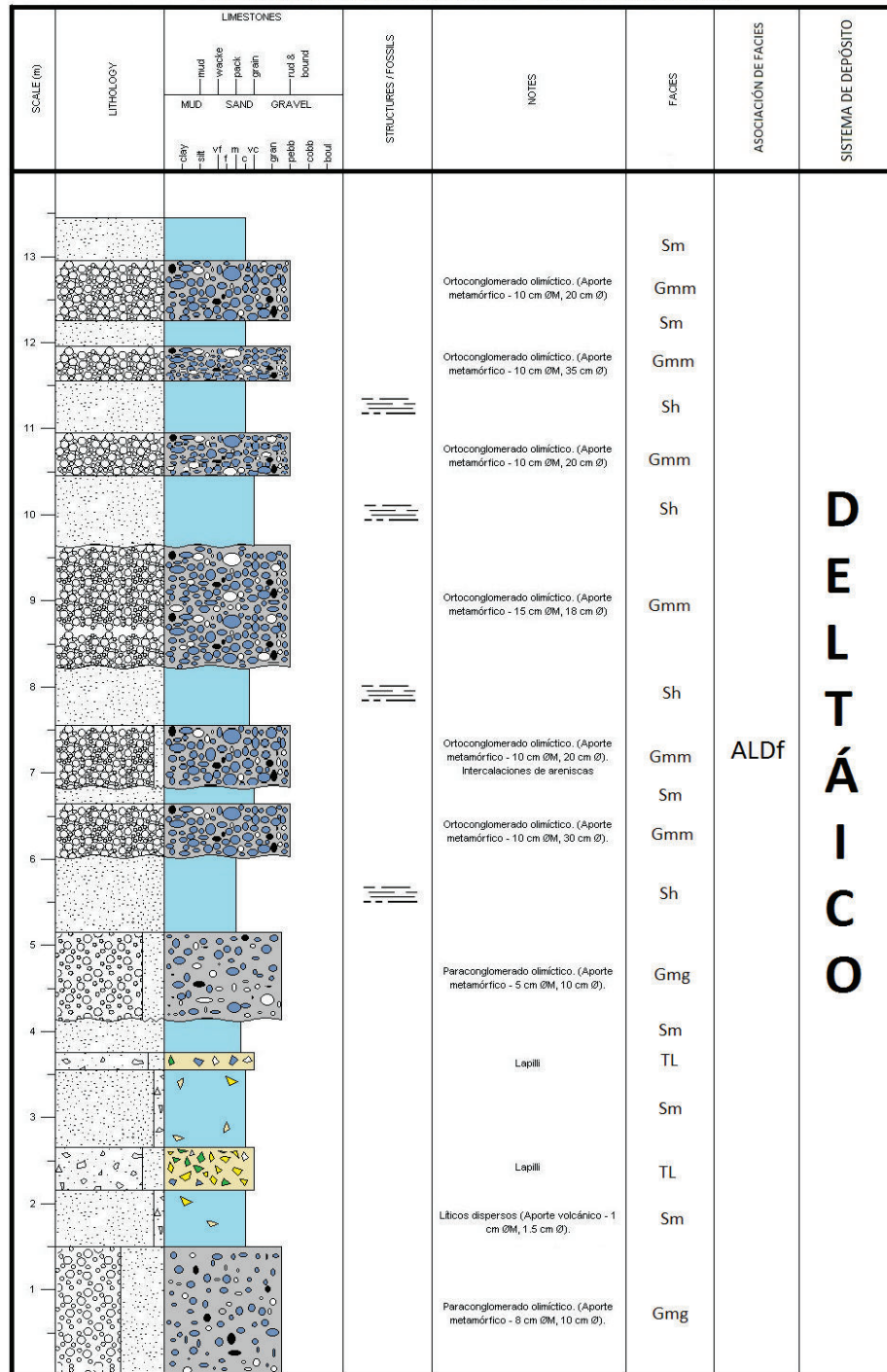
SCALE (m)	LITHOLOGY	LIMESTONES						STRUCTURES / FOSSILS	NOTES	FACIES	ASOCIACIÓN DE FACIES	SISTEMA DE DEPÓSITO
		MUD		SAND		GRAVEL						
		clay silt	vf f	m c	vc c	gran pebb	cobb bould					
9										Fr Fsm Fr Fsm Fr Fsm		P L A N I C I E D E M A R E A
8										Fr Fsm		
7										Fr Fr		
6										Lt		
5								Se tiene una pátina de azufre diseminada en todo el afloramiento		Lt	APMu	
4										Lt		
3										Y Lt Y Lt		
2										Y Lt		
1										Y Lt		

Anexo 14 Columna estratigráfica 14– Formación Santo Domingo
 UTM: 689409 / 9542528 – Columna mostrando ciclos de planicie mareal

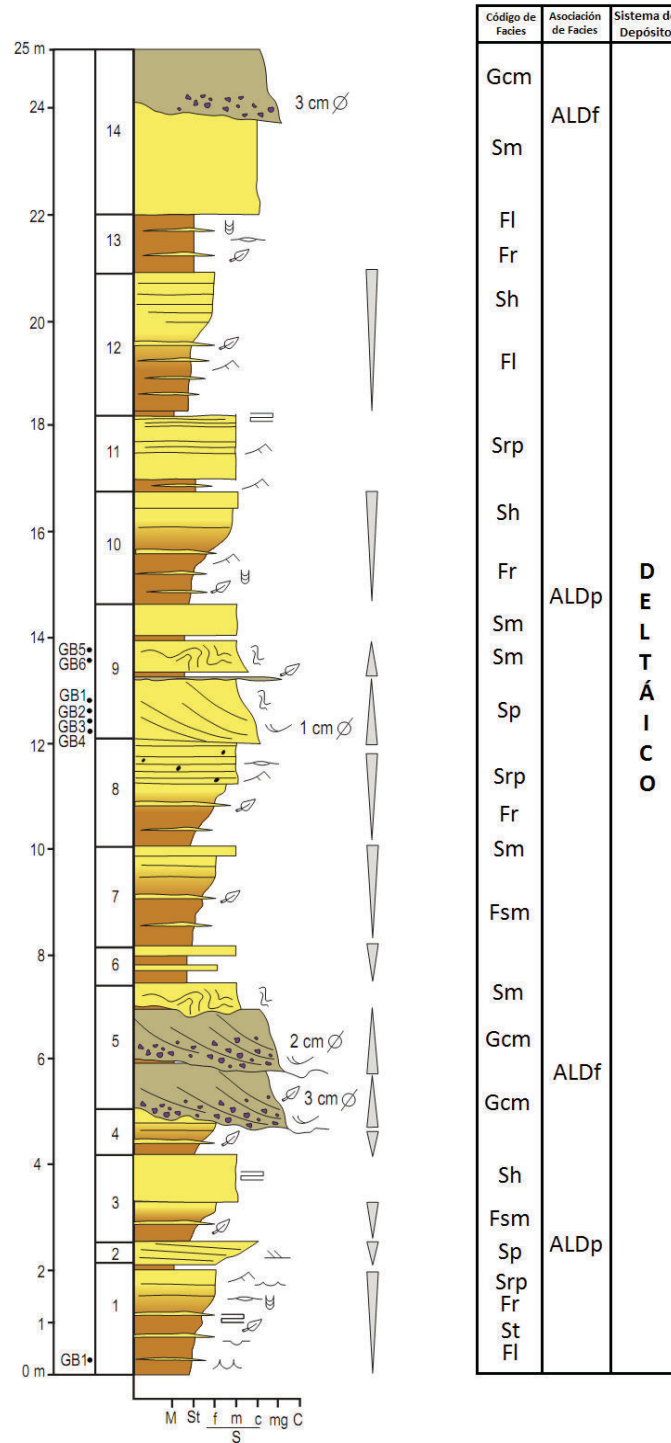


Anexo 15 Columna estratigráfica 15– Formación San Francisco
 UTM: 689942 / 9536564 – Columna mostrando ciclos de llanura deltáica fluvial y palustre con influencia mareal
 Modificado de Corrochano, 2014

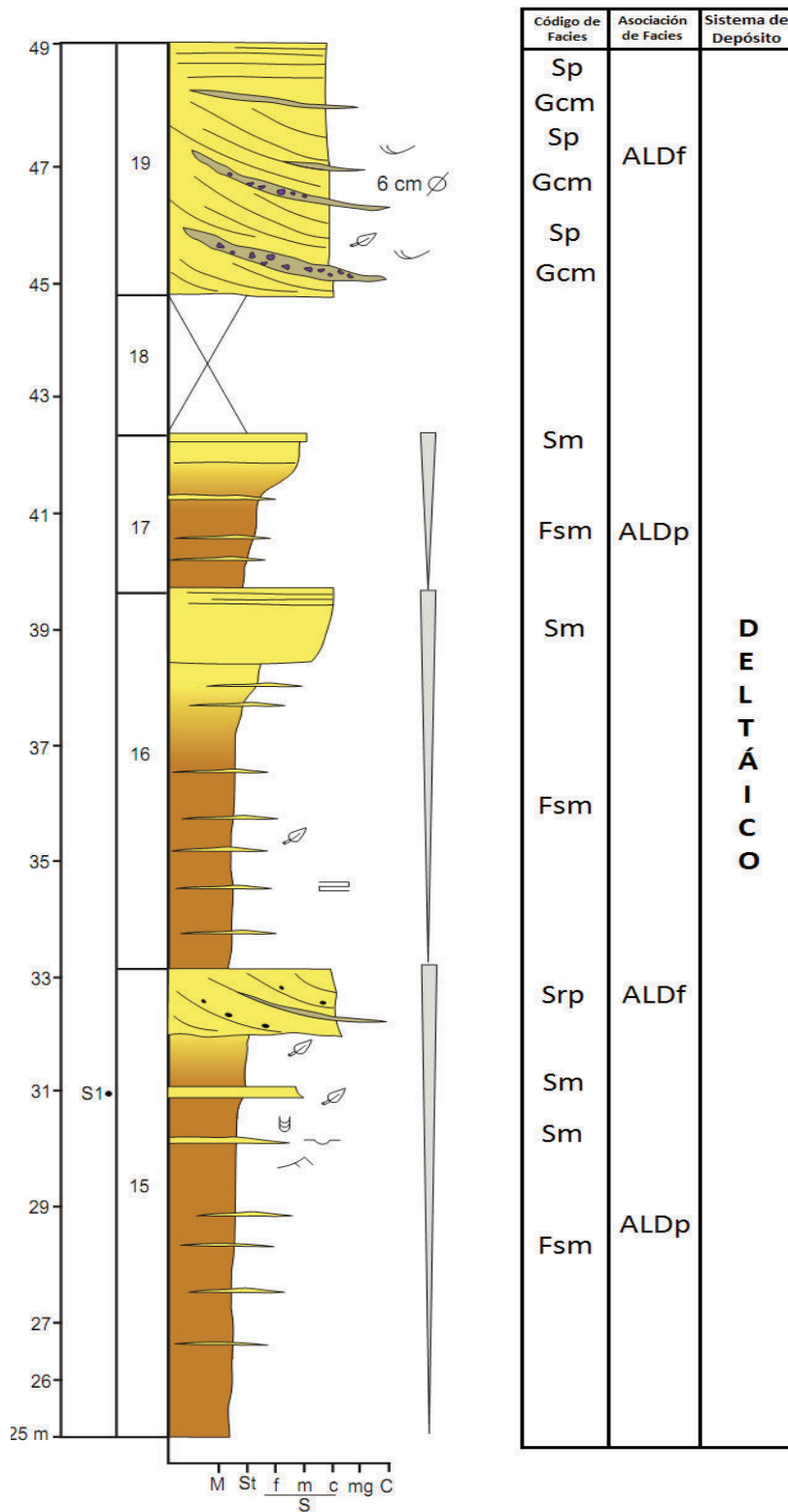
Formación San Francisco - Mioceno tardío



Anexo 16 Columna estratigráfica 16– Formación San Francisco
UTM: 691989 / 9536806– Columna mostrando ciclos de llanura deltáica fluvial

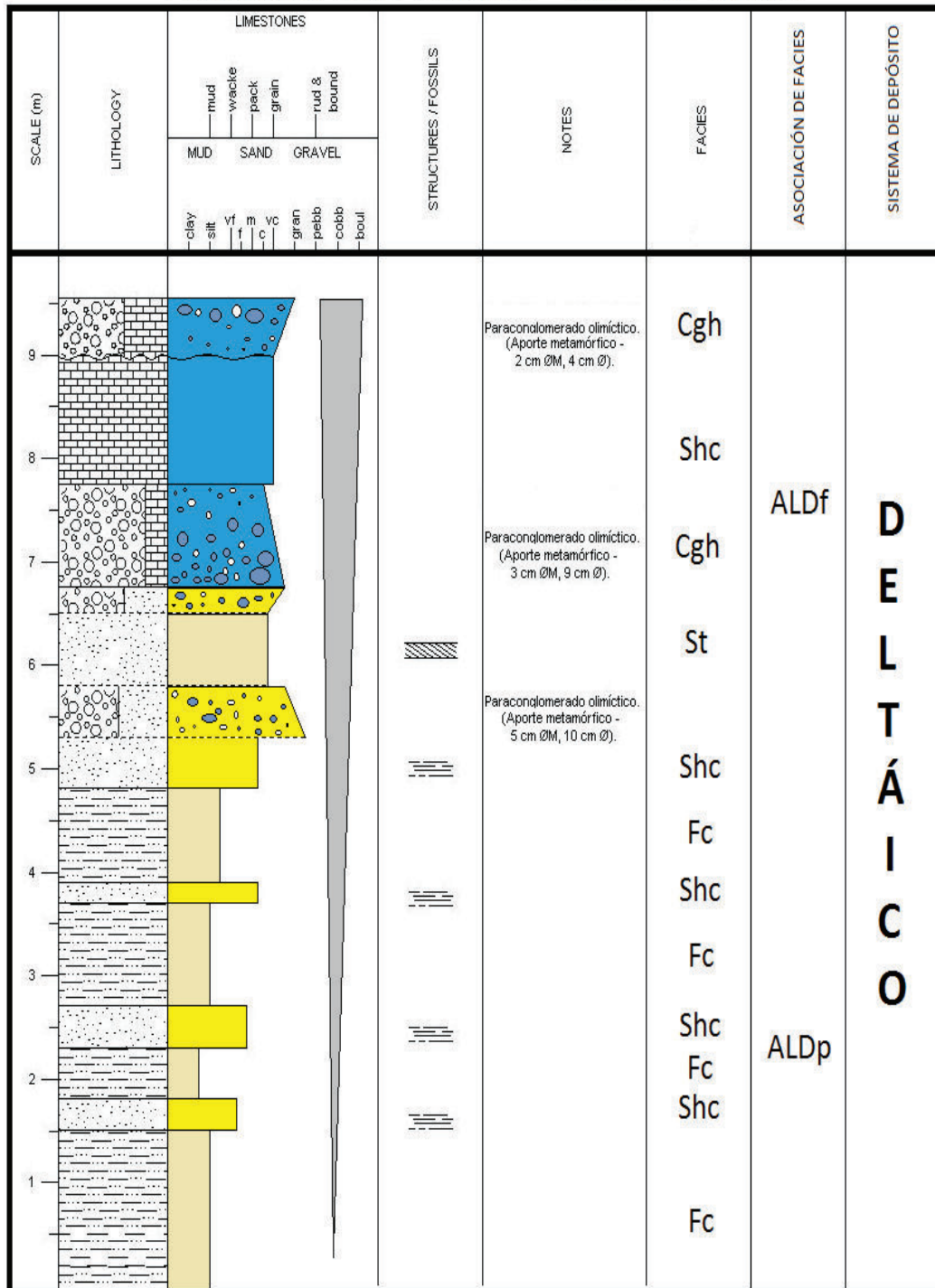


Anexo 17a Columna estratigráfica 17a– Formación San Francisco
 UTM: 696107 / 9535345 –Columna mostrando ciclos de llanura deltáica fluvial y palustre con influencia mareal
 Modificado de Corrochano, 2014



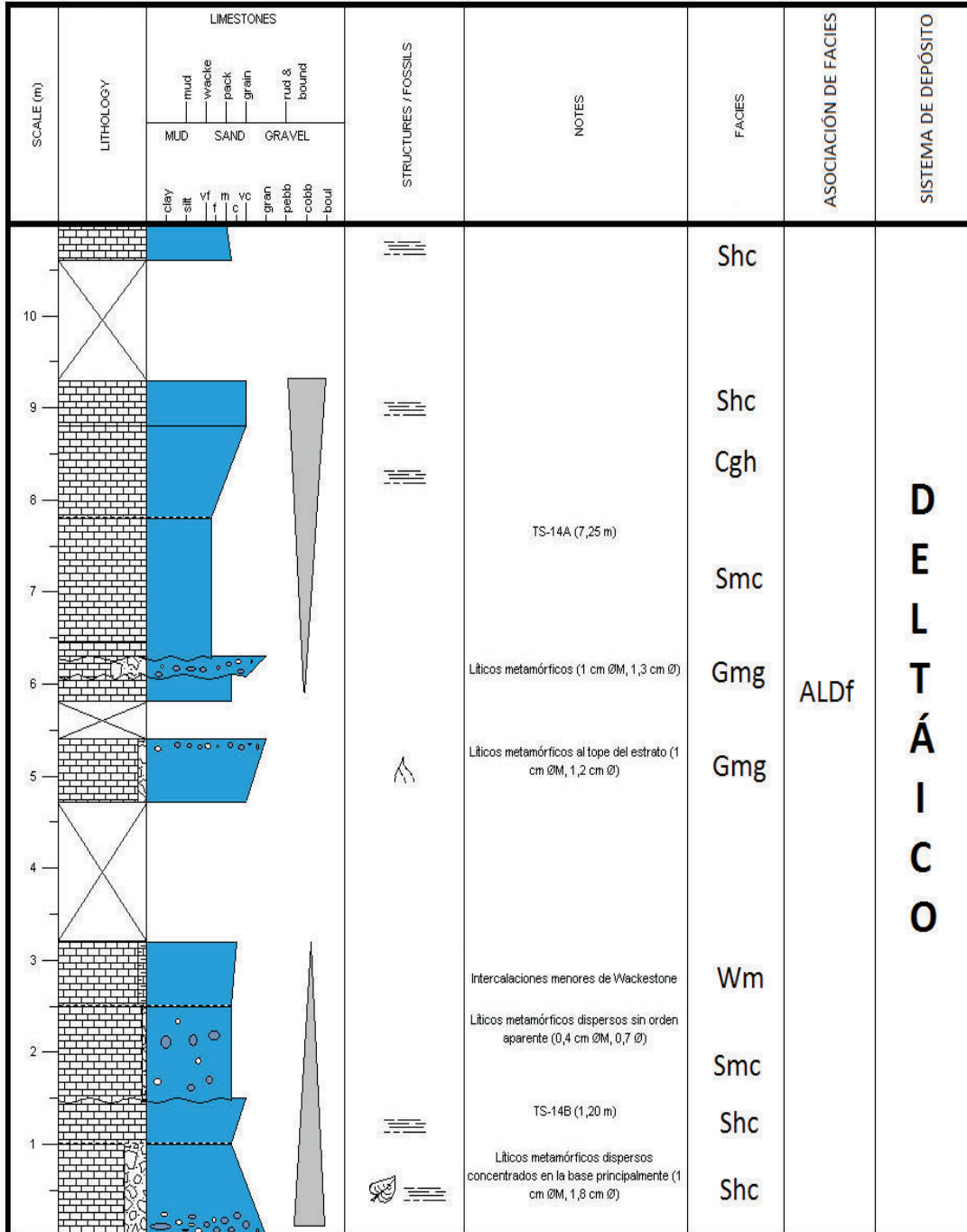
Anexo 17b Columna estratigráfica 17b – Formación San Francisco
 UTM: 696107 / 9535345 – Columna mostrando ciclos de llanura deltáica fluvial y palustre con influencia mareal
 Modificado de Corrochano, 2014

Formación San Francisco - Mioceno tardío



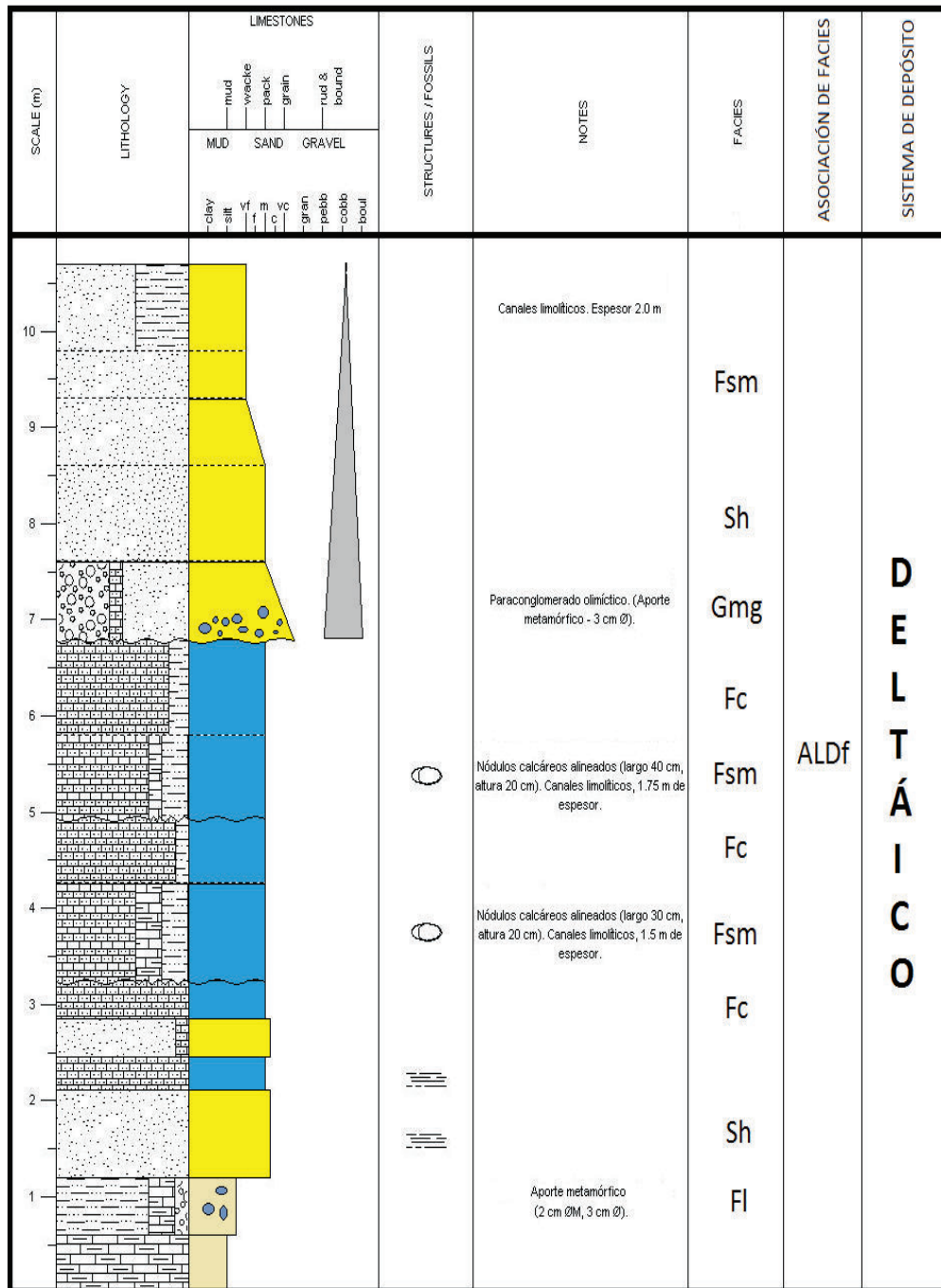
Anexo 18 Columna estratigráfica 18 – Formación San Francisco
 UTM: 696106 / 9535370 –Columna mostrando ciclos de llanura deltáica palustre y fluvial

Formación San Francisco - Mioceno tardío



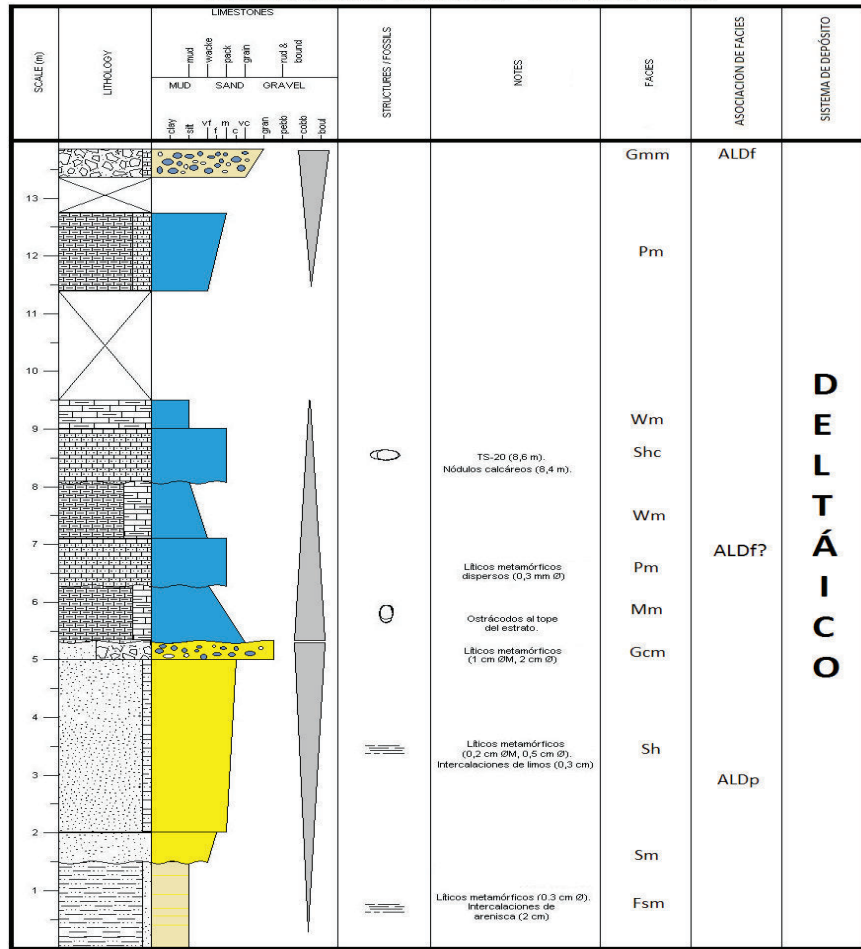
Anexo 19 Columna estratigráfica 19– Formación San Francisco
 UTM: 695971 / 9535470 –Columna mostrando ciclos de llanura deltáica fluvial

Formación San Francisco - Mioceno tardío



Anexo 20 Columna estratigráfica 20– Formación San Francisco
 UTM: 694955 / 9536526 –Columna mostrando ciclos de llanura deltáica fluvial con influencia marina

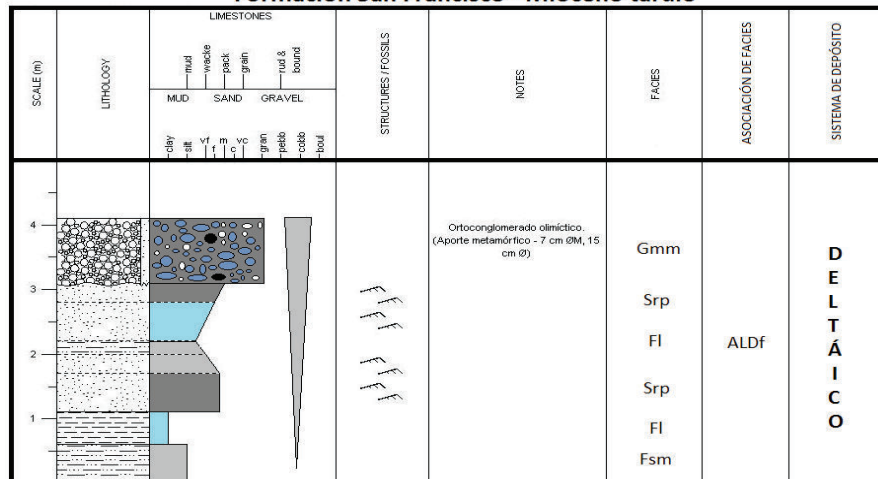
Formación San Francisco - Mioceno tardío



Anexo 21 Columna estratigráfica 21 – Formación San Francisco

UTM: 696624 / 9532377 – Columna mostrando ciclos de llanura deltáica palustre y fluvial con influencia marina

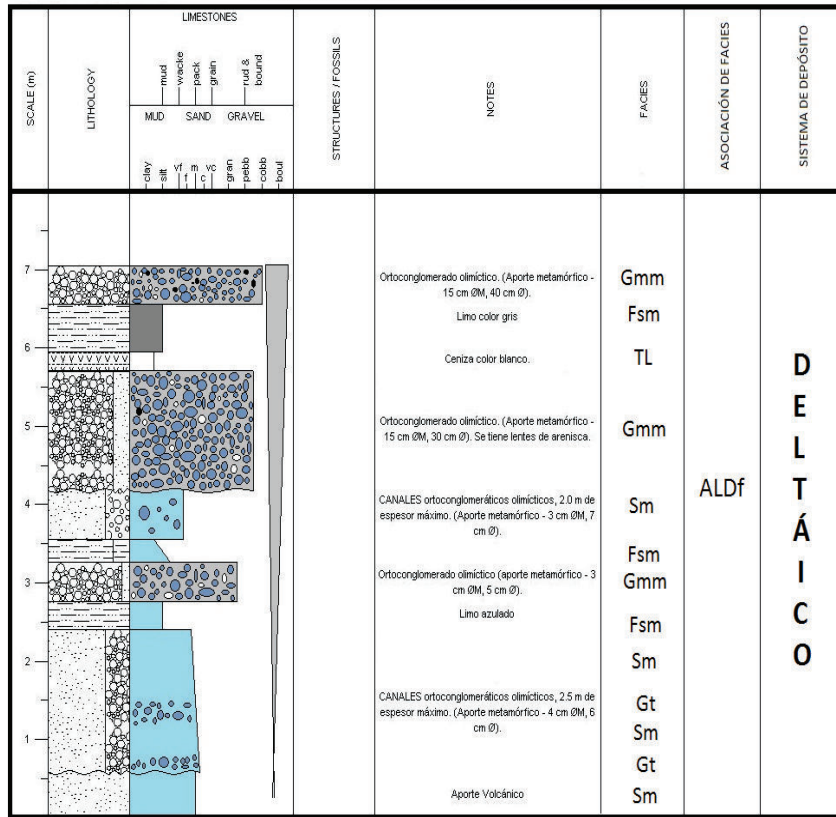
Formación San Francisco - Mioceno tardío



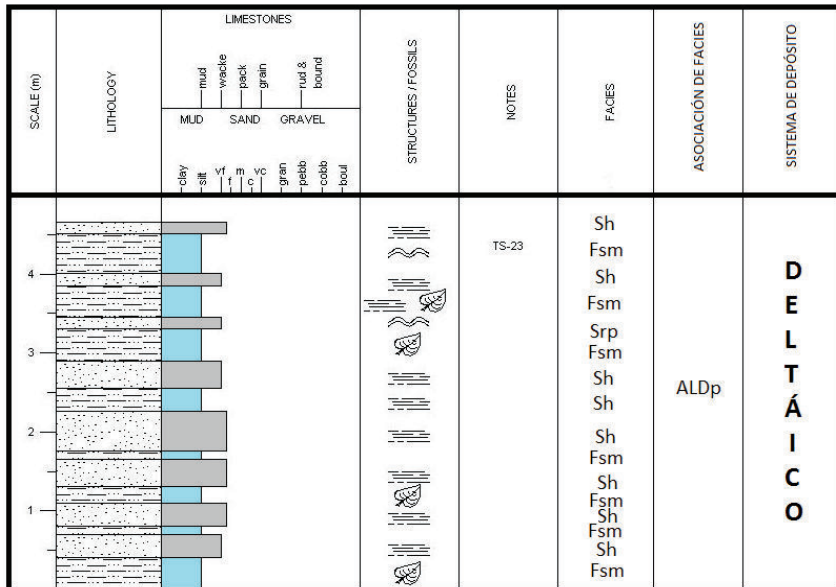
Anexo 22 Columna estratigráfica 22 – Formación San Francisco

UTM: 692439 / 9534111 – Columna mostrando ciclos de llanura deltáica fluvial con influencia marina

Formación San Francisco - Mioceno tardío



Anexo 23 Columna estratigráfica 23– Formación San Francisco
UTM: 695535 / 9532197 –Columna mostrando ciclos de llanura deltáica fluvial
Formación San Francisco - Mioceno tardío

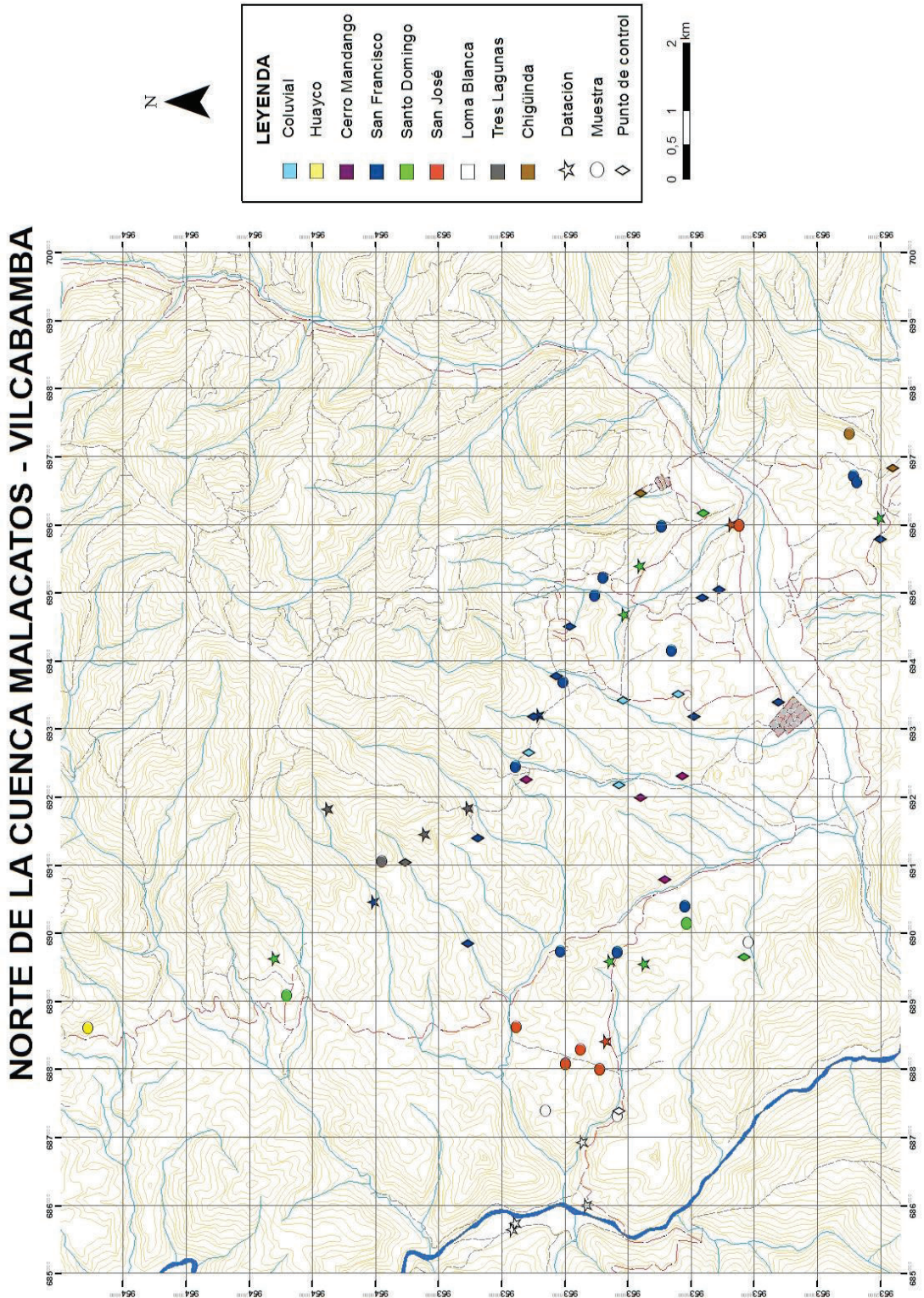


Anexo 24 Columna estratigráfica 24 – Formación San Francisco
UTM: 693683 / 9537036– Columna mostrando ciclos de llanura deltáica fluvial con influencia marina

Anexo 25 Listado de muestras

N	X	Y	MUESTRAS	ROCA	FORMACIÓN
1	689728	9537070	TS-01	Arcosa lítica	San Francisco
2	687315	9536181	TS-02	Andesita	Loma Blanca
3	687996	9536447	TS-03A	Andesita (conglomerado)	San José
4	687996	9536447	TS-03B	Packstone	San José
5	688623	9537771	TS-04	Andesita (conglomerado)	San José
6	690400	9535100	TS-05A	Calcarenita oolítica	San Francisco
7	690400	9535100	TS-05B	Litarenita / calcarenita oolítica	San Francisco
8	690150	9535080	TS-06	Toba riolítica (estrato)	Santo Domingo
9	690150	9535080	TS-07	Grawaca lítica	Santo Domingo
10	691050	9539900	TS-08	Ortogneis	Tres Lagunas
11	687389	9537309	TS-09	Brecha piroclástica	Loma Blanca
12	688082	9536994	TS-10A	Ostracodita / Packstone	San José
13	688082	9536994	TS-10B	Mudstone	San José
14	688082	9536994	TS-10C	Wackestone	San José
15	688082	9536994	TS-10D	Grainstone	San José
16	695984	9534245	TS-11A	Arcosa	San José
17	695984	9534245	TS-11B	Limolita	San José
18	695984	9534245	TS-11C	Grawaca feldespática	San José
19	695984	9534245	TS-11D	Litarenita feldespática	San José
20	692441	9537787	TS-12	Arcosa lítica	San Francisco
21	688615	9544566	TS-13	Ignimbrita	Huayco
22	695971	9535470	TS-14A	Calcarenita	San Francisco
23	695971	9535470	TS-14B	Calcirrudita	San Francisco
24	689081	9541406	TS-15	Limolita	Santo Domingo
25	689726	9536170	TS-16	Lutita	Santo Domingo
26	689726	9536170	TS-17	Sublitarenita	San Francisco
27	696714	9532431	TS-18	Calcarenita	San Francisco
28	697342	9532501	TS-19	Cuarcita	Chigüinda
29	696624	9532377	TS-20	Calcarenita	San Francisco
30	695218	9536398	TS-21	Calcarenita	San Francisco
31	694955	9536526	TS-22	Calcarenita	San Francisco
32	693683	9537036	TS-23	Limolita	San Francisco
33	689870	9534099	TS-24	Brecha volcánica	Loma Blanca
34	694155	9535317	TS-25	Calcarenita	San Francisco
35	688296	9536758	TS-26	Gasteropodita / Packstone	San José
36	697151	9526586	AF-1	Toba vítrea	Quinara
37	693179	9524165	AF-2	Toba vítrea	Quinara

Anexo 26 Ploteo de muestras tomadas y dataciones



Anexo 27 Medidas Estructurales

X	Y	Z	Tipo estructura	Azimut	Buzamiento	Formación	Autor
689142	9542877	1574	Estratificación	100	64	Santo Domingo	BSA*
695568	9532351	1686	Estratificación	240	25	San Francisco	BSA
695971	9535470	1785	Estratificación	50	40	San José	BSA
689401	9542528	1588	Estratificación	70	65	Santo Domingo	BSA
689429	9541557	1625	Estratificación	60	48	Santo Domingo	BSA
689079	9541406	1634	Estratificación	92	62	Santo Domingo	BSA
689228	9540930	1616	Estratificación	70	62	Santo Domingo	BSA
689052	9539920	1604	Estratificación	68	40	Santo Domingo	BSA
688932	9539549	1589	Estratificación	75	55	Santo Domingo	BSA
688593	9538546	1567	Estratificación	86	10	Santo Domingo	BSA
688764	9538140	1542	Estratificación	70	30	Santo Domingo	BSA
688656	9537779	1493	Control	-	-	San José	BSA
688270	9536746	1578	Estratificación	50	20	San José	BSA
687387	9536150	1556	Control	-	-	Loma Blanca	BSA
689146	9536294	1657	Estratificación	105	35	Santo Domingo	BSA
689726	9536170	1663	Estratificación	72	30	San Francisco	BSA
690798	9535427	1569	Control	-	-	Cerro Mandango	BSA
696714	9532431	1802	Control	-	-	San José	BSA
697342	9532501	1876	Control	-	-	Chigüinda	BSA
696624	9532377	1778	Estratificación	20	15	San José	BSA
696840	9531813	1807	Control	-	-	Chigüinda	BSA
696493	9531929	1741	Estratificación	90	62	Santo Domingo	BSA
696173	9531945	1756	Estratificación	82	71	Santo Domingo	BSA
695795	9532011	1726	Control	-	-	San Francisco	BSA
695535	9532197	1700	Control	-	-	Cerro Mandango	BSA
695507	9532682	1649	Contacto	215	30	San Francisco	BSA
696465	9535806	1643	Control	-	-	Chigüinda	BSA
696106	9535370	1726	Estratificación	30	36	San José	BSA
695442	9535682	1730	Estratificación	115	26	Santo Domingo	BSA
695218	9536398	1784	Control	-	-	San José	BSA
694998	9536556	1773	Estratificación	25	30	San José	BSA
694955	9536526	1751	Estratificación	22	40	San José	BSA
693425	9536080	1701	Contacto	-	-	Coluvial	BSA
693517	9535209	1641	Control	-	-	Coluvial	BSA
693188	9534962	1587	Control	-	-	San Francisco	BSA
693398	9533621	1484	Contacto	-	-	San Francisco	BSA
693597	9536419	1729	Estratificación	30	40	San Francisco	BSA
693782	9537146	1786	Control	-	-	San Francisco	BSA
693683	9537036	1792	Control	-	-	San Francisco	BSA
694505	9536928	1916	Control	-	-	San Francisco	BSA
694593	9536691	1906	Estratificación	38	42	San José	BSA
693189	9537497	1854	Control	-	-	San Francisco	BSA
692662	9537578	1885	Contacto	-	-	Coluvial	BSA
692265	9537614	1861	Control	-	-	Cerro Mandango	BSA

691406	9538381	1810	Control	-	-	San Francisco	BSA
690863	9539306	1751	Contacto	240	31	Santo Domingo	BSA
691042	9539530	1810	Control	-	-	Tres Lagunas	BSA
689415	9536313	1683	Estratificación	44	50	Santo Domingo	BSA
689523	9535975	1758	Estratificación	49	34	Santo Domingo	BSA
689406	9535547	1774	Estratificación	70	0	Santo Domingo	BSA
689593	9534339	1709	Estratificación	100	52	Santo Domingo	BSA
689661	9534171	1679	Contacto	-	-	Santo Domingo	BSA
689870	9534099	1652	Control	-	-	Loma Blanca	BSA
690318	9533937	1578	Estratificación	275	15	Santo Domingo	BSA
690579	9534077	1557	Contacto	80	44	San Francisco	BSA
692187	9536143	1639	Contacto	0	0	Coluvial	BSA
692287	9537650	1840	Estratificación	130	50	Cerro Mandango	BSA
691989	9535806	1669	Control	-	-	Cerro Mandango	BSA
692311	9535143	1590	Contacto	-	-	Cerro Mandango	BSA
692439	9534111	1564	Estratificación	80	23	San Francisco	BSA
697498	9535390	1586	Foliación	210	63	Chigüinda	BSA
696605	9534858	1574	Estratificación	235	80	Santo Domingo	BSA
696174	9534808	1617	Control	-	-	Santo Domingo	BSA
695871	9535043	1637	Estratificación	40	33	Santo Domingo	BSA
696005	9534261	1532	Estratificación	50	40	San Francisco	BSA
694618	9534171	1510	Estratificación	60	70	Santo Domingo	BSA
695053	9534562	1591	Control	-	-	Santo Domingo	BSA
694926	9534833	1656	Contacto			San Francisco	BSA
694155	9535317	1631	Control	-	-	San José	BSA
688296	9536758	1588	Estratificación	110	14	San José	BSA
688719	9536503	1629	Estratificación	230	80	Santo Domingo	BSA
687427	9537216	1534	Control	-	-	San José	BSA
689847	9538540	1555	Control	-	-	San Francisco	BSA
689600	9537800	1680	Inclinación	80	50	Santo Domingo	BSA
689400	9536600	1740	Inclinación	55	45	San Francisco	BSA
691350	9536450	1760	Inclinación	75	45	San Francisco	BSA
691850	9536700	1775	Inclinación	40	40	Cerro Mandango	BSA
692500	9537010	1790	Inclinación	0	0	Coluvial	BSA
693500	9532150	1640	Inclinación	60	35	Cerro Mandango	BSA
695600	9531500	1890	Inclinación	0	0	Cerro Mandango	BSA
696450	9532900	1450	Inclinación	250	70	San José	BSA
692600	9534950	1650	Inclinación	30	45	Cerro Mandango	BSA
692760	9535600	1640	Inclinación	50	40	Cerro Mandango	BSA
695400	9534650	1600	Inclinación	45	45	San Francisco	BSA
691850	9537380	1700	Inclinación	90	40	Cerro Mandango	BSA
692490	9533250	1545	Inclinación	55	40	San Francisco	BSA
688400	9543700	1580	Estratificación	80	55	Santo Domingo	PR**
688600	9543350	1570	Estratificación	100	40	Santo Domingo	PR
688800	9543220	1590	Estratificación	80	35	Santo Domingo	PR
688450	9542340	1550	Estratificación	55	15	Santo Domingo	PR

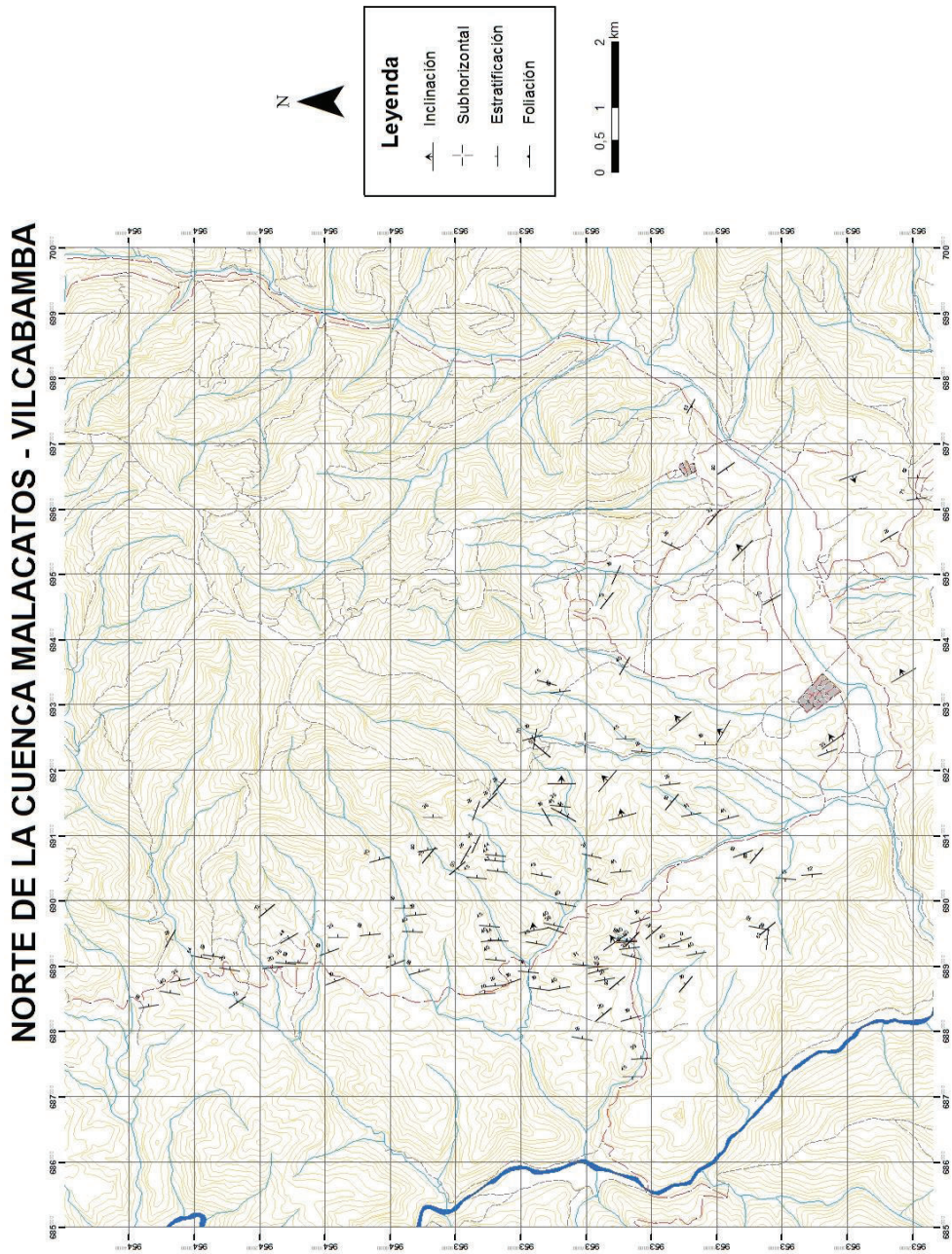
689150	9542700	1580	Estratificación	98	53	Santo Domingo	PR
688950	9542450	1570	Estratificación	100	35	Santo Domingo	PR
689000	9541800	1560	Estratificación	85	20	Santo Domingo	PR
689050	9541600	1550	Estratificación	95	35	Santo Domingo	PR
689400	9543350	1600	Estratificación	210	29	Santo Domingo	PR
689850	9541900	1760	Estratificación	50	72	Santo Domingo	PR
688780	9540850	1600	Estratificación	70	30	Santo Domingo	PR
689450	9540800	1620	Estratificación	90	35	Santo Domingo	PR
689500	9540300	1670	Estratificación	85	55	Santo Domingo	PR
689900	9539790	1620	Estratificación	90	55	Santo Domingo	PR
690650	9540150	1720	Estratificación	75	70	Santo Domingo	PR
689550	9539651	1640	Estratificación	92	40	Santo Domingo	PR
689800	9539600	1680	Estratificación	85	30	Santo Domingo	PR
690790	9539430	1740	Estratificación	80	80	San Francisco	PR
691250	9539550	1790	Falla	235	85	Tres Lagunas	PR
691300	9539350	1800	Estratificación	90	36	San Francisco	PR
690690	9539400	1720	Estratificación	220	75	San Francisco	PR
690480	9538950	1680	Estratificación	230	50	San Francisco	PR
690350	9538680	1580	Estratificación	95	45	San Francisco	PR
689620	9538480	1560	Estratificación	95	45	Santo Domingo	PR
689390	9538350	1530	Estratificación	93	44	Santo Domingo	PR
689400	9538450	1520	Estratificación	85	40	Santo Domingo	PR
689100	9538390	1500	Estratificación	95	40	Santo Domingo	PR
688710	9538380	1580	Estratificación	85	25	Santo Domingo	PR
690690	9538830	1755	Estratificación	210	25	San Francisco	PR
690890	9538700	1765	Estratificación	25	38	San Francisco	PR
691360	9538700	1760	Estratificación	20	25	San Francisco	PR
690700	9538380	1710	Estratificación	95	44	San Francisco	PR
691550	9538480	1785	Estratificación	45	25	San Francisco	PR
691750	9538330	1793	Estratificación	40	25	San Francisco	PR
690620	9538395	1695	Estratificación	95	44	San Francisco	PR
690480	9538360	1620	Estratificación	97	47	San Francisco	PR
690396	9537675	1580	Estratificación	100	42	Santo Domingo	PR
689630	9537490	1555	Estratificación	103	40	Santo Domingo	PR
689550	9537450	1540	Estratificación	110	38	Santo Domingo	PR
689350	9537750	1520	Estratificación	100	45	Santo Domingo	PR
688910	9537880	1500	Estratificación	95	32	Santo Domingo	PR
688650	9537700	1520	Estratificación	98	30	San José	PR
688670	9537401	1584	Estratificación	80	40	San José	PR
689950	9537300	1585	Estratificación	100	40	Santo Domingo	PR
689015	9537050	1580	Estratificación	95	31	Santo Domingo	PR
690300	9536810	1590	Estratificación	105	43	Santo Domingo	PR
690680	9536905	1600	Estratificación	103	36	Santo Domingo	PR
691290	9537280	1595	Estratificación	120	31	San Francisco	PR
691350	9537380	1618	Estratificación	118	41	San Francisco	PR
691280	9537591	1720	Estratificación	150	30	San Francisco	PR

691450	9537390	1660	Estratificación	95	35	San Francisco	PR
692480	9537800	1720	Estratificación	10	30	San Francisco	PR
692510	9537820	1745	Estratificación	75	70	San Francisco	PR
687890	9537050	1585	Estratificación	100	25	San José	PR
688810	9536720	1700	Estratificación	80	23	Santo Domingo	PR
688940	9536810	1722	Estratificación	75	19	Santo Domingo	PR
689010	9536810	1740	Estratificación	85	15	Santo Domingo	PR
689290	9536330	1735	Estratificación	83	55	Santo Domingo	PR
688210	9536310	1600	Estratificación	75	30	San José	PR
690460	9536460	1710	Estratificación	85	41	San Francisco	PR
693210	9537390	1800	Estratificación	83	59	San Francisco	PR
693350	9537590	1960	Estratificación	105	45	San Francisco	PR
692501	9536400	1760	Estratificación	90	45	Cerro Mandango	PR
687610	9536150	1610	Estratificación	87	39	San José	PR
687290	9536280	1605	Estratificación	270	45	Loma Blanca	PR
689390	9536370	1685	Estratificación	87	40	Santo Domingo	PR
689410	9536380	1710	Estratificación	89	55	San Francisco	PR
688720	9535480	1580	Estratificación	40	30	Santo Domingo	PR
689310	9535720	1740	Estratificación	85	40	Santo Domingo	PR
691510	9535680	1600	Estratificación	40	60	San Francisco	PR
691800	9535710	1620	Estratificación	84	25	Cerro Mandango	PR
692290	9536150	1650	Estratificación	95	25	San Francisco	PR
689210	9535310	1660	Estratificación	80	40	Santo Domingo	PR
691340	9535400	1570	Estratificación	80	31	San Francisco	PR
691280	9534810	1560	Estratificación	75	41	San Francisco	PR
692400	9535180	1600	Estratificación	90	30	Cerro Mandango	PR
690690	9534590	1560	Estratificación	250	60	Santo Domingo	PR
689400	9534250	1760	Estratificación	5	63	Santo Domingo	PR
689550	9534210	1750	Estratificación	230	55	Santo Domingo	PR
690680	9534390	1560	Estratificación	40	85	Santo Domingo	PR
690380	9533550	1600	Estratificación	265	12	Santo Domingo	PR
692290	9533300	1550	Estratificación	70	35	San Francisco	PR
697514	9536062		Lineamiento	100	20	Chigüinda	Kennerley Y Almeida, 1975
697216	9536035		Foliación	207	80	Chigüinda	
696754	9532150		Estratificación	92	63	Santo Domingo	
695878	9531559		Estratificación	308	9	Cerro Mandango	
694390	9533081		Estratificación	275	44	Cerro Mandango	
695450	9538401		Foliación	113	50	Tres Lagunas	INIGEMM 2014
696025	9537656		Foliación	115	72	Chigüinda	
696465	9535805		Foliación	110	40	Chigüinda	
696174	9535491		Estratificación	60	25	San Francisco	
696174	9535491		Estratificación	240	50	San Francisco	
695984	9534245		Estratificación	95	20	San José	

* Byron Solís Alulima

** Pedro Reyes

Anexo 28 Ploteo de medidas estructurales



Anexo 29 Corte centro norte de la cuenca
(C: 692834 / 9531282 – C'692358 / 9538870)

