

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

UNIDAD DE TITULACIÓN

**“ESTUDIO DE TESTIGOS DE PERFORACIÓN EN TORNO A
PORTOVIEJO: ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y DE
CONTENIDO FÓSIL”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA GEÓLOGA
OPCIÓN: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

ELENA ALEJANDRA PÉREZ VALLE
ale.epv17@gmail.com

DIRECTORA: DRA. ANA CABERO DEL RÍO
ana.cabero@epn.edu.ec

Quito, mayo 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Elena Alejandra Pérez Valle, 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.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Elena Alejandra Pérez Valle

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por Elena Alejandra Pérez Valle, bajo mi supervisión.

Dra. Ana Cabero del Río

DIRECTOR

DEDICATORIA

Por todo cuanto me enseñaron,
el tiempo que compartimos juntos,
las sonrisas que irradiaban sus rostros,
sus abrazos que me aliviaban el alma.

Con mucho cariño
dedico este trabajo a:
mi mami Elena,
mi abuelito Luis
y mi tía Amadita.

Tres seres amados,
que me cuidan desde el cielo
y a quienes siempre llevo en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen María por alcanzar esta meta con éxito y por darme la fortaleza para no rendirme a pesar de las adversidades.

A mi mami Elena, por ser mi ángel a quien llevo siempre en mi corazón. Gracias por darme su amor infinito, que es la motivación de mi vida.

A mi padre Rubén, gracias por su apoyo incondicional y enseñarme a enfrentar las adversidades de la vida con valentía.

A mi hermana Cris, una de las personas más importantes para mí, gracias por creer en mí y alentarme a alcanzar mis metas. ¡Te quiero con todo mi corazón!

A mis abuelitos Milita y Luis, quienes con su sabiduría, afecto y ternura me han dado muchas lecciones de vida.

A mis tíos Mercedes y Pablo por acogerme en su hogar con mucho aprecio durante mi travesía por la universidad.

A mis tías: Charito, Elvi, Ness, y Moni por todo su cariño y por apoyarme siempre, en especial en los momentos más difíciles.

A mi perrito Jack, que me recibe con mucho cariño al volver a casa y ha sido mi acompañante en los desvelos y caminatas.

A la Escuela Politécnica Nacional por apoyar al Proyecto de Vinculación con la Sociedad, PVS-2018-028 el cual aportó nuevos datos para la investigación.

A mi directora de tesis, Dra. Ana Cabero, quien me ha guiado en el desarrollo del proyecto de investigación, gracias su confianza, apoyo y tiempo dedicado a este trabajo.

A todo el equipo que formó parte durante el desarrollo del proyecto, en especial al Dr. Pedro Reyes e Ing. Diego Cárdenas por su apoyo en la planificación y el trabajo de campo. Gracias también a Roxi Lasluisa por sus recomendaciones durante el trabajo de laboratorio.

Quiero agradecer a todos los ingenieros de la carrera de Ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional por sus conocimientos y consejos impartidos durante la carrera.

A mis amigos de Prepo con quienes inicié mi trayecto universitario, personas maravillosas con las que he compartido momentos valiosos. ¡Gracias por su amistad sincera!

A mis amigos y compañeros de la carrera con quienes compartí y aprendí durante las clases y las salidas de campo. En especial a Majo, Nico y Stalin, gracias por su cariño, conversaciones, consejos, abrazos y sonrisas; que hicieron de esta etapa una de las mejores de mi vida.

¡Gracias infinitas a todas las personas que estuvieron junto a mí durante todo este trayecto!

Ale Pérez Valle.

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE ANEXOS	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIONES.....	1
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	5
1.4.1. Clima y Temperatura.....	5
1.5. ALCANCE.....	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO GEOLÓGICO	7
2.1. CONTEXTO GEODINÁMICO	7
2.2. GEOLOGÍA REGIONAL	7
2.3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	8
2.3.1. Formación Piñón	12
2.3.2. Formación Cayo.....	13
2.3.4. Formación Punta Blanca	13
2.3.5. Formación Playa Rica	14
2.3.6. Formación Pambil	14
2.3.7. Formación Dos Bocas	14
2.3.8. Formación Villingota.....	14
2.3.9. Formación Angostura	15
2.3.10. Formación Ónzole	15
2.3.11. Formación Borbón.....	16
2.3.12. Formación Balzar San Tadeo	16
2.3.13. Depósitos Cuaternarios.....	16
2.4. SISMICIDAD.....	18
2.5. MICROPALAEONTOLOGÍA: FORAMINÍFEROS	19
2.5.1. Introducción.....	19
2.5.2. Importancia del Estudio de Foraminíferos	21
2.5.3. Clasificación de Foraminíferos	21
2.5.3.1. Forma y arquitectura de las cámaras.....	22
2.5.3.2. Aberturas	26
2.5.3.3. Estructura de la pared.....	27

2.5.3.4. Ornamentación	29
CAPÍTULO III	31
3. METODOLOGÍA.....	31
3.1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARTOGRÁFICA DE LA ZONA	31
3.2. TRABAJO DE CAMPO Y MUESTREO.....	32
3.2.1. Datos de las perforaciones	33
3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS TESTIGOS DE PERFORACIÓN	33
3.4. METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE MICROFÓSILES	34
3.4.1. Preparación y Tratamiento de Muestras.....	34
CAPITULO IV.....	38
4. RESULTADOS	38
4.1. LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA	38
4.1.1. Columna estratigráfica del Testigo de Perforación P-04.....	39
4.1.2. Columna Estratigráfica del Testigo de Perforación P-15.....	46
4.1.3. Columna Estratigráfica el Testigo de Perforación PVS-04.....	50
4.1.4. Columna Estratigráfica del Testigo de Perforación PVS-05.....	56
4.2. PALEONTOLOGÍA	58
4.2.1. Micropaleontología y aspectos tafonómicos	58
4.2.1.1. Testigo de Perforación P-04	59
4.2.1.2. Testigo de Perforación P-15	64
4.2.1.3. Testigo de Perforación PVS-04.....	66
4.2.1.4. Testigo de Perforación PVS-05.....	68
CAPITULO V.....	70
5. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN	70
5.1. INTERPRETACIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS EN LOS TESTIGOS DE PERFORACIÓN Y CORRELACIÓN	70
5.1.1. Interpretación de facies y contenido fosilífero.....	70
5.1.2. Correlación y Evolución de Ambientes Sedimentarios.....	72
5.2. PROCESOS QUE CONDICIONARON EL RELLENO DEL ESTUARIO DE PORTOVIEJO.....	83
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXOS	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación del área de estudio y las perforaciones realizadas en las dos campañas.	2
Figura 1.2. Mapa de ubicación de los Sondeos de Perforación del estudio geotécnico en el centro de la ciudad de Portoviejo. Tomado de Alvarado (2018).	3
Figura 1.3. Información Meteorológica del INAMHI del cantón Portoviejo (SNI, 2012).	6
Figura 2.1. Cuencas sedimentarias de la región y estructuras principales de la Cuenca de Manabí de acuerdo con Reyes y Michaud (2012).	9
Figura 2.2. Geología del sector de Manta Jipijapa en el que se encuentran las Cuencas de Manta y Manabí; se observa la ubicación de la zona de estudio en el rectángulo celeste. Modificado de Reyes y Michaud (2012).	11
Figura 2.3. Columna estratigráfica de la cuenca sedimentaria de Manabí. Tomado de Reyes (2013).	12
Figura 2.4. Sismicidad superficial en la zona de interfase, profundidad hipocentral $Z \leq 50m$. La zona de estudio se delimita con el recuadro azul de acuerdo con Yepes et al, 2016 (Tomado de Alvarado, 2018).	19
Figura 2.5. Ejemplos de Foraminíferos planctónicos. Pulleniatina obliquiloculata; B) Globorotalia tumida. C) Nonion grateloupi; D) Uvigerina peregrina. Tomado de Ordóñez et al (2006).	21
Figura 2.6. Subórdenes de foraminíferos y su filogenia según Loeblich & Tappan (1988). Tomado de Ali et al., (2015).	22
Figura 2.7. Morfología y distribución de las cámaras de Foraminíferos. Tipos de enrollamiento: unilocular, trocoespiral, miliólido y polimorfo. Tomado de Haynes (1981)	23
Figura 2.8. Morfología y distribución de las cámaras de Foraminíferos. Tipos de enrollamiento: planiespiral, uniserial, discoidal anular y complejo. Tomado de Haynes (1981).	24
Figura 2.9. Principales tipos de disposiciones de las cámaras de Foraminíferos. (1) Cámara única, (2) Uniserial, (3) Biserial, (4) Triserial, (5) Planiespiral a biserial, (6) Miliólido, (7) Planiespiral evoluta, (8) Planispiral involuta, (9) Estreptoestrial, (10 a 12) Trocoespiral, (10, vista dorsal; 11, vista de borde; 12, vista ventral). Tomado de Loeblich and Tappan (1964).	26
Figura 2.10. Principales tipos de Aberturas de Foraminíferos. 1. Extremo abierto en tubo; 2. Terminal radiada; 3. Terminal en forma de ojal, umbilical; 4. Intraumbilical arqueada alta; 5. Basal en forma de lazo; 6. Interiomarginal; 7. Interiomarginal múltiple;	

8. Areal en criba; 9. Con labio amplio; 10. Con diente bífido; 11. Dientes umbilicales; 12. Bulla umbilical (Tomado de Loeblich & Tappan, 1964).	27
Figura 2.11. Ejemplos de estructuras de la pared (diagrama, basado en estudios usando escáner microscópico electrónico). Tomado de Armstrong & Brasier (2005)	28
Figura 3.1. Cartografía utilizada de la zona de estudio clasificada por disponibilidad de cartas al público. Modificado de IGM.	31
Figura 3.2. Preparación y tratamiento de muestras para el estudio de fósiles.	35
Figura 3.3. Lupa binocular para el estudio de foraminíferos	36
Figura 4.1. Simbología usada en las columnas estratigráficas de los testigos de perforación. Modificado de Sedstructure, University of Texas	38
Figura 4.2. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-04, desde 74 m hasta 160 m de profundidad.	40
Figura 4.3. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-04, desde la superficie hasta 74m de profundidad.	41
Figura 4.4. Limolitas del testigo P-04 de la Litofacie FI2 con bioturbación (a y b).....	42
Figura 4.5. Muestras del testigo de perforación P-04 con estructuras sedimentarias. 43	
Figura 4.6. Muestras del testigo de perforación P-04 con estructuras sedimentarias. Litofacie Fsl2: a) Limolitas con intercalaciones de arenas gris claro. Litofacie Fsm2: b) Limolitas con intercalaciones de arcillas verde-amarillentas por presencia de azufre. 44	
Figura 4.7. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-15.	47
Figura 4.8. Muestras del testigo de perforación P-15 con estructuras sedimentarias.49	
Figura 4.9. Conglomerados de la litofacie Gmg2 del testigo de perforación P-15.....	50
Figura 4.10. Muestras de la perforación PVS-4. La imagen de la izquierda corresponde a la litofacie Fsm1 y a la derecha la litofacie Fsm2.	51
Figura 4.11. Muestras de la perforación PVS-4. La imagen de la izquierda corresponde a la litofacie Fsm3 y a la derecha la litofacie Fm2.	52
Figura 4.12. Muestras de la perforación PVS-4. a) Litofacie FI1, capas laminadas. b) Litofacie Fr1. c) Litofacie Fm4.....	53
Figura 4.13. Columna estratigráfica del testigo de perforación PVS-04.....	55
Figura 4.14. Columna estratigráfica del testigo de perforación PVS-05.....	56
Figura 4.15. Muestras de la perforación PVS-5. La imagen de la izquierda corresponde a la litofacie Sfm1 y a la derecha la litofacie Sfm2.	57
Figura 4.16. Litofacie Sfm3 Intercalaciones de arenas grises y marrones.	57
Figura 4.17. Foraminíferos contabilizados en el basamento sedimentario del P-04. .61	
Figura 4.18. Foraminíferos contabilizados en el relleno sedimentario del P-04.	61
Figura 4.19. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-04, desde 74m hasta 160m de profundidad. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto .62	

Figura 4.20. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-04, desde la superficie hasta 74m de profundidad. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto al total.....	63
Figura 4.21. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-15, de 30 metros de profundidad. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto al total. ...	65
Figura 4.22. Foraminíferos contabilizados en el relleno sedimentario del P-15.	66
Figura 4.23. Foraminíferos contabilizados en el basamento sedimentario del P-15. ..	66
Figura 4.24. Columna estratigráfica del testigo de perforación PVS-04. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto al total.....	67
Figura 4.25. Columna estratigráfica del testigo de perforación PVS-05. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto al total.....	69
Figura 4.26. Foraminíferos contabilizados en el PVS-05.....	69
Figura 5.1. Diagrama ternario con las relaciones entre foraminíferos Hialinos, Aglutinados y Porcelanoides en los testigos de perforación analizados en este trabajo. Modificado de Murray (1991).Se usa las formas de puntos para diferenciar las muestras tomadas en el basamento sedimentario y las estrellas para las muestras del relleno cuaternario.....	71
Figura 5.2. Correlación de los testigos de perforación en dirección NNW-SSE desde la Costa actual hasta el centro de la ciudad de Portoviejo.	73
Figura 5.3. Principales litofacies depositadas en ambientes someros siliciclásticos. Modificado de Johnson, 1978 y Boersma, 1975.....	75
Figura 5.4. Estuarios dominados por la marea: a) variación de la energía, b) distribución de facies en planta. Modificado de Dalrymple et al., 1992, citado en Arche (2010).....	78
Figura 5.5. Registro sedimentario de depósitos de estuario dominado por la marea. Tomado de Nichols (2009).....	78
Figura 5.6. Afloramiento de la Formación Villingota, Vía a Crucita.	79
Figura 5.7. Afloramiento de la Formación Villingota, Cantera.....	80
Figura 5.8. Sección longitudinal esquemática de un estuario dominado por la marea. Modificado de Zaitlin et al., 1994.; Tomado de Arche (2010).	81
Figura 5.9. Corte O-E, entre Manta y Portoviejo. Tomado de Luzieux (2007).	83
Figura 5.10. Esquemas de desviaciones verticales y horizontales de perfiles del río.	84
Figura 5.11. Modelo de evolución de ambientes en el valle del Río Portoviejo durante el Cuaternario.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos de las perforaciones utilizadas en el presente estudio.....	33
Tabla 2. Identificación de las muestras del testigo P-04.	60
Tabla 3. Identificación de las muestras del testigo P-04.	64
Tabla 4. Identificación de las muestras del testigo PVS-04.....	66
Tabla 5. Identificación de las muestras del testigo PVS-05.....	68

LISTA DE ANEXOS

Anexo I– Tablas de contabilización de fósiles de los Testigos de Perforación.	98
Anexo II. Fotografías de muestras la Formación Villingota.....	99

RESUMEN

La Ciudad de Portoviejo está ubicada en un amplio valle formado por depósitos aluviales del río Portoviejo. El presente estudio identifica las facies del basamento sedimentario y el relleno cuaternario para mejorar el conocimiento paleoambiental del área mediante el estudio sedimentológico de cuatro testigos de perforación (P-04, P-15, PVS-4 y PVS-5) y el análisis general de su contenido fósil. Los testigos de perforación se localizan desde la ciudad de Portoviejo, hasta la desembocadura del río (playa de Crucita). En total, se describieron 231 metros de testigos, siendo el P-04 el de mayor profundidad (160 m).

Se estudiaron 24 muestras con restos fósiles de los testigos (con presencia de fragmentos de conchas, foraminíferos, espículas de esponjas silíceas, y otros restos no identificables), y se identificaron los subórdenes de foraminíferos los cuales se representaron en el Diagrama Ternario de Murray (1991) para interpretar los paleoambientes junto con las litologías.

Las litofacies de los cuatro testigos de perforación se representaron en columnas estratigráficas y se correlacionaron en dirección NNW-SSE, diferenciándose tres unidades paleoambientales: plataforma, estuario-playa y fluvial. Las litofacies de plataforma corresponden al basamento sedimentario que se interpreta como la Formación Villingota que presenta principalmente limolitas arenosas con laminación (Fsl y Fl) con asociaciones de foraminíferos vinculadas a plataforma (Testigo P-04). Algunas muestras reflejan asociaciones más litorales similares a lagunas marinas, en lutitas (Fm) con mayor contenido de materia orgánica (P-04 y P-15).

Las litofacies del estuario y fluviales son sedimentos del Cuaternario, con presencia de foraminíferos en litofacies arenosas (Sm) y limo-arenosas (Fsm o Sfm) que reflejan paleoambientes hiposalinos como marismas o lagunas marinas abiertas correspondientes al inicio del relleno del estuario (P-04, P-15, PVS-5). Las facies limo-arenosas (Fsm o Sfm) sin presencia de restos de foraminíferos y conchas se interpretan como facies con influencia fluvial y final del relleno del estuario (P-04 y PVS-4).

Palabras clave: Estuario de Portoviejo, Sedimentología, Testigos, Foraminíferos, Paleoambientes, Mioceno y Cuaternario.

ABSTRACT

Portoviejo's City is located in a wide valley formed by alluvial deposits of the Portoviejo River. The present study identifies sedimentary basement facies and fill in order to improve the paleoenvironmental knowledge of the area. Sedimentological study and fossil content of four drill cores located from Portoviejo's City to the mouth of the river (Crucita Beach) were applied.

This study analyzed the fossil content of 24 samples from the core drills (with presence of shells, fragments, foraminifera, silica spicule sponges and other unrecognizable fragments). The suborders of foraminifera were identified and represented in the Murray's Ternary Diagram (1991) in order to interpret the paleoenvironments together with lithologies.

The lithofacies of the four drill cores were represented in stratigraphic columns and were correlated in a NNW-SSE section. The correlation allows differentiate three paleoenvironment units: shelf, estuary and fluvial. Shelf lithofacies are related to the sedimentary basement, which is interpreted as the Villingota Formation, characterized by sandy siltstones with lamination (Fsl and Fl) and shelf foraminifera assemblages (P-04 drill). Some samples are related to littoral assemblages similar to lagoons; represented by shales (Fm) with more organic matter content (P-04 y P-15).

The estuary and fluvial facies are Quaternary sediments, with the presence of foraminifers in sandy lithofacies (Sm) and sandy siltstones (Fsm o Sfm) related to hyposaline paleoenvironments such as marshes and lagoons at the base of the estuary fill (P-04, P-15, PVS-5). The silty sandstones facies (Fsm o Sfm) with no foraminifera and shells content are interpreted such as facies with fluvial influence and the end of estuary fill (P-04 y PVS-4).

Keywords: Estuary of Portoviejo, Sedimentology, Drill cores, Foraminifera, Paleoenvironments, Miocene and Quaternary.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes y Justificaciones

El cantón de Portoviejo es la capital de la Provincia de Manabí en la región Costa, se encuentra altitudinalmente a 44 m.s.n.m. en una superficie de 319,6 Km². Su población total corresponde a 238.430 habitantes (INEC., 2010). La ciudad ha sido afectada por fenómenos naturales como inundaciones, deslizamientos y sismos; como por ejemplo el sismo del 16 de abril de 2016 que provocó pérdidas de vidas humanas y materiales.

El área de estudio se ubica en torno a la desembocadura del río Portoviejo, que atraviesa el centro de la ciudad de Portoviejo, en dirección SE – NO. La ciudad de Portoviejo presenta una geomorfología constituida por la llanura aluvial del valle del Río Portoviejo, rodeada por lomas con relieves con cotas que superan los 500 m.s.n.m. hacia el extremo norte del cantón, y relieves que no superan los 200m de altura en las que afloran las Formaciones de la cuenca de Manabí del Mio-Plioceno.

La cuenca de Manabí constituye una de las mayores cuencas del Neógeno en el Antearco costero, constituido principalmente por rocas sedimentarias de ambiente marino, cuyas edades varían desde el Cretácico hasta el Cuaternario, en donde han existido etapas de acumulación de sedimentos alternadas con períodos de deformación tectónica (Luzieux, 2007; Reyes, 2013).

El presente trabajo analiza el relleno sedimentario del valle a partir del estudio de sondeos de perforación en la Cuenca de Portoviejo con una superficie aproximada de 131,03Km². La información en el área proviene de 2 campañas de perforación. La primera campaña de 19 sondeos de perforación fue realizada por el área Mecánica de Suelos PUCE, en los meses de mayo a junio de 2017 (Alvarado, 2018). La segunda campaña realizó 5 sondeos de perforación dentro de un proyecto de vinculación con el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Portoviejo bajo el cual se realizaron 150 metros de perforación. La mayor parte de las perforaciones se realizaron en el centro de la ciudad que lleva el mismo nombre y el resto

en torno a la localidad en dirección NW (Fig.1.1). Los testigos de perforación se encuentran cerca del cauce del Río Portoviejo el que desemboca en el Océano Pacífico.

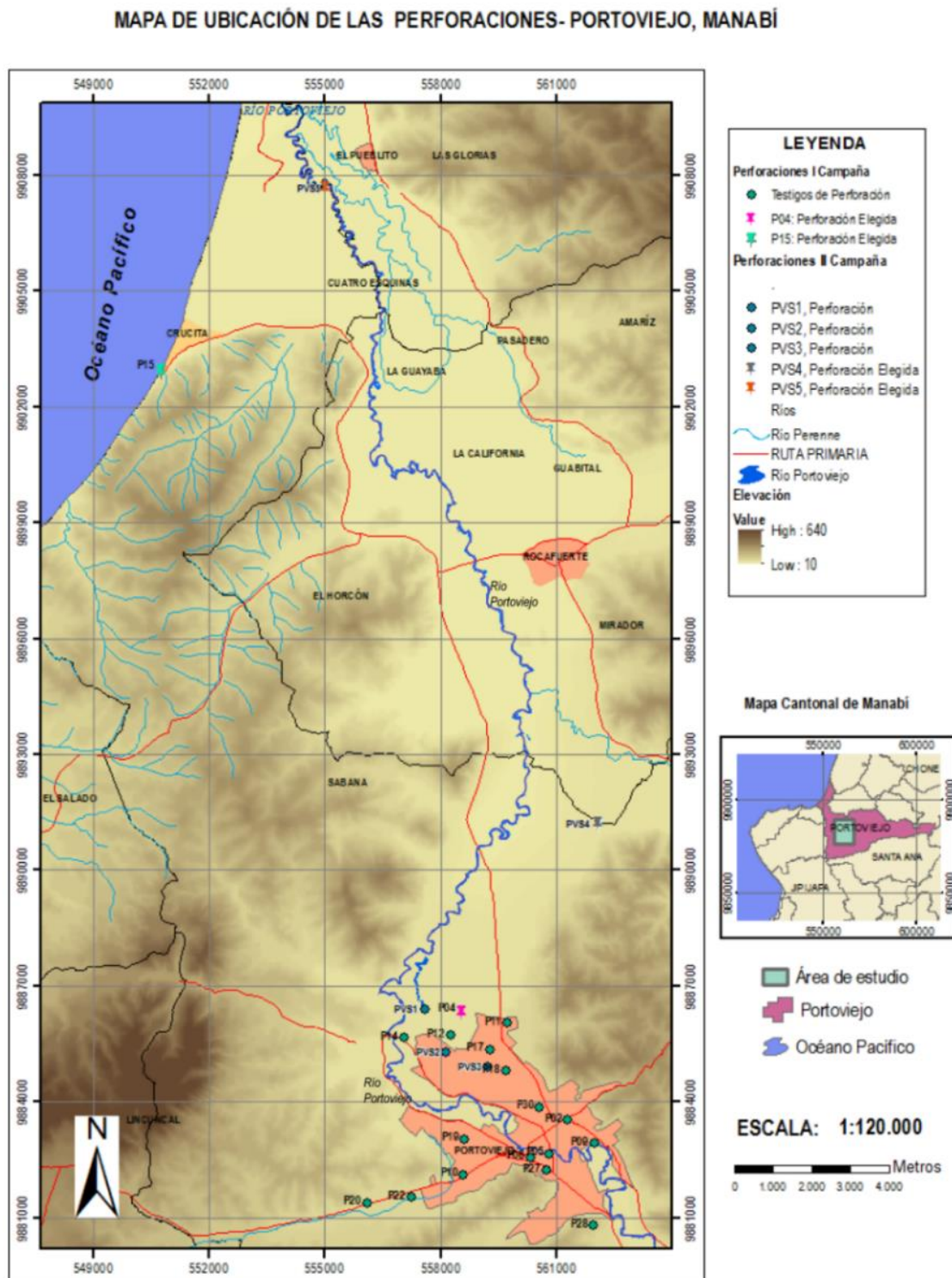


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio y las perforaciones realizadas en las dos campañas.

La Ciudad de Portoviejo está expuesta a inundaciones por el desbordamiento del río Portoviejo, en especial en la temporada del Fenómeno de El Niño y otros riesgos naturales como deslizamientos y sismos.

Los estudios previos realizados en el área evaluaron parámetros de riesgo sísmico considerando los testigos de perforación aplicados en el campo de Geotecnia (Fig. 1.2), los que permitieron generar un mapa geotécnico basado en las propiedades físicas de los suelo (Alvarado, 2018). Otro enfoque en el que se usaron los datos de las perforaciones es el estudio general de los depósitos del cuaternario y su distribución en un mapa geológico (Escala 1:20.000) de Chacón (2018), cuya interpretación indica que el valle de Portoviejo comprende una ría fluvio marina posiblemente de edad Pleistoceno Superior. Sin embargo, no se han realizado análisis sedimentológicos o paleontológicos detallados en el área de estudio.

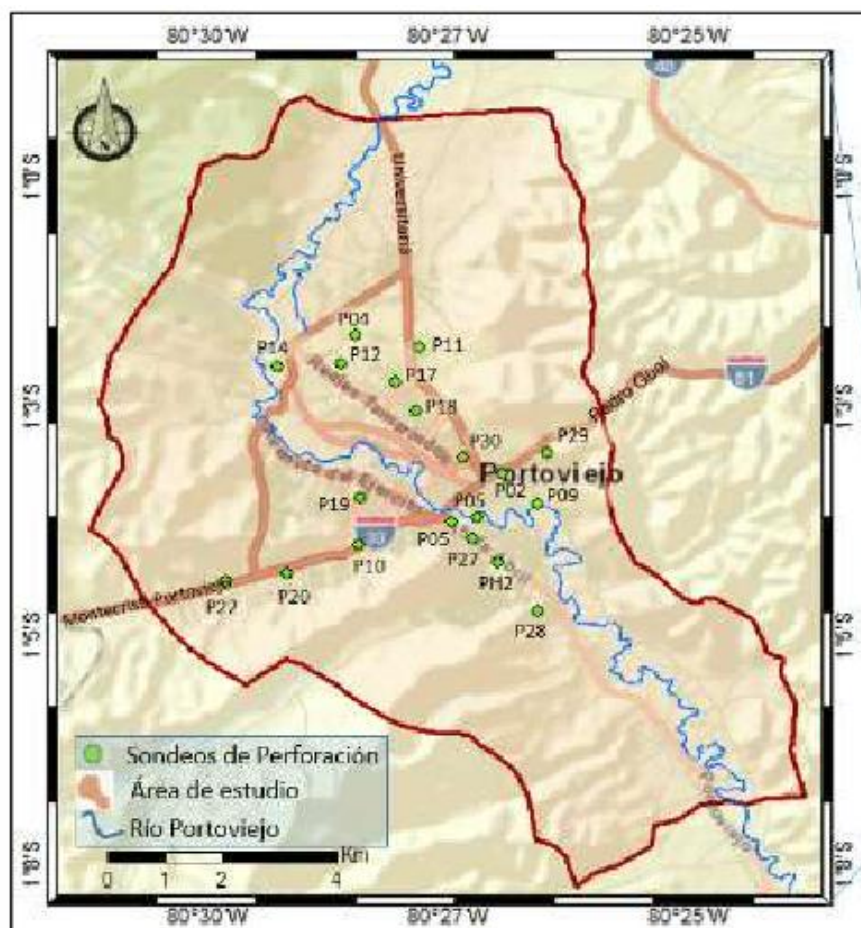


Figura 1.2. Mapa de ubicación de los Sondeos de Perforación del estudio geotécnico en el centro de la ciudad de Portoviejo. Tomado de Alvarado (2018).

Los estudios sedimentológicos y micropaleontológicos proporcionan datos ambientales que contribuyen al conocimiento de la evolución reciente de la Costa, y a su vez pueden aportar datos para los estudios de paleosisimicidad y/o paleoclima. La información de los estudios mencionados es importante para mejorar el conocimiento geológico del área y la toma de medidas que ayuden a reducir la vulnerabilidad de la población que ha sido afectada por eventos naturales.

El presente estudio identifica las facies sedimentarias del relleno de Portoviejo considerando sus aspectos sedimentológicos y contenido general de microfósiles, centrado en foraminíferos para mejorar el conocimiento paleoambiental del área. Para el levantamiento de la información se seleccionaron cuatro testigos de las 2 campañas de perforación efectuadas.

La primera campaña fue realizada por el Área de Mecánica de Suelos PUCE durante los meses de mayo y junio del año 2017, mediante el método de rotopercusión. De este grupo antes mencionado fueron seleccionados dos testigos para su estudio a detalle, que corresponden al P-04 de 160 metros y P-15 de 30 metros (ver Fig. 1.1), ya que Alvarado (2018) indica que dichos testigos presentan microfósiles bien preservados. Ambos testigos continuos son estudiados en detalle en este trabajo. Del testigo de mayor profundidad (P-04) se recolectaron catorce muestras para estudio de contenido fósil, y del P-15 cinco muestras de aproximadamente 25 gramos cada una.

La segunda campaña de perforaciones se realizó dentro del Proyecto de Vinculación PVS-2018-028, que fue financiado por la Escuela Politécnica Nacional. Se recorrió los alrededores de la ciudad de Portoviejo y Crucita con la finalidad de recolectar muestras de varios afloramientos de las diferentes Formaciones geológicas del área de estudio. Los nuevos testigos de perforación se realizaron a inicios de 2019 mediante el Método de SPT en cinco puntos del área de estudio (Ver Fig. 1.1). Para el estudio sedimentológico se eligieron los testigos de perforación PVS-4 y PVS-5, para correlacionarlos con los testigos de la primera campaña y completar una sección SE-NW. El estudio de contenido fósil requirió la recolección de dos muestras del sondeo PVS-4 y tres muestras del PVS-5 de 25 gramos cada una.

Ordoñez et al. (2006) describen la zonificación bioestratigráfica en la cuenca de Manabí mediante análisis micropaleontológicos de foraminíferos, nanofósiles calcáreos y radiolarios. Los estudios micropaleontológicos mencionados ratifican la presencia de microfauna en el área de estudio, que en conjunto con análisis sedimentológicos y de contenido fósil permiten

determinar los ambientes de depositación en torno a Portoviejo; el cual es el objetivo del presente trabajo de investigación dentro del Proyecto PVS-2018-028.

1.2. Objetivo general

Realizar un análisis del relleno sedimentario reciente en torno a Portoviejo mediante estudios de Sedimentología y contenido microfósil en 4 testigos de perforación.

1.3. Objetivos específicos

- Caracterizar las unidades estratigráficas presentes en 4 testigos de perforación en base a la litología, estructuras, y contenido fósil general
- Analizar el contenido micropaleontológico general de las diferentes unidades reconocidas centrandose en foraminíferos.
- Realizar la correlación entre las unidades estratigráficas y facies de los testigos de perforación estudiados para interpretar el ambiente de depositación y elaborar un modelo evolutivo del relleno.
- Identificar los procesos que fueron parte de la evolución geológica local (y regional) que condicionaron el relleno sedimentario reciente entorno a Portoviejo.

1.4. Características de la Zona de Estudio

1.4.1. Clima y Temperatura

El clima de la ciudad de Portoviejo varía entre tropical seco a tropical húmedo y está influenciado por corrientes marinas. Durante el invierno, que se inicia a principios de diciembre y finaliza en mayo, el clima es caluroso y está influenciado por la corriente cálida del El Niño. Esta temporada presenta las precipitaciones más abundantes que varían entre 400 y 1400 mm³ (SNI, 2012).

Los meses de enero a abril presentan el mayor valor de temperatura, mientras que los meses de julio y agosto son los que presentan valores ligeramente más bajos con respecto a la media anual que es de 25,4°C (Fig.1.3). Las temperaturas son relativamente más bajas, gracias a la influencia de la corriente fría de Humboldt en el verano.

COD.	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
M005	PORTOVIEJO-UTM	26,1	26,1	26,5	26,6	25,9	24,8	24,4	24,3	24,5	24,6	25,0	25,7	25,4

Fuente: Información Meteorológica del INAMHI

Elaborado: CLIRSEN-MAGAP, 2012

Figura 1.3. Información Meteorológica del INAMHI del cantón Portoviejo (SNI, 2012).

1.5. Alcance

El presente trabajo se centra en el análisis del relleno sedimentario bajo la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí específicamente en la Cuenca de Portoviejo con una superficie aproximada de 131,03Km².

Para ello, se centró el estudio detallado en 4 testigos de perforación, en un transecto NNW-SSE, desde la playa actual de Crucita hasta la ciudad de Portoviejo. Entre los 4 testigos, se incluye el que alcanzó mayor profundidad (160m) en los estudios realizados por el Área de Mecánica de Suelos PUCE, junto con un testigo de 30m localizado en Crucita. Al estudio de estos testigos se añadió el estudio y descripción de 2 perforaciones de 30m y 11m realizadas bajo el auspicio del Proyecto de Vinculación PVS-2018-028, ubicados entre los testigos realizados en la primera campaña (Fig. 1.1).

Los sedimentos descritos en los testigos de perforación y en las campañas de campo se compararon con las Formaciones descritas en el entorno en trabajos previos: Formaciones Ónzole, Villingota y Dos Bocas (Reyes, 2013; Chacón, 2018).

En total se han descrito 231 m de testigos y se han analizado en el laboratorio un total de 27 muestras procedentes de las perforaciones y de la superficie, de las cuales en 24 se examinó su contenido fósil.

El análisis y comparación de las características paleontológicas y sedimentológicas de los testigos de perforación, permitió describir los paleoambientes que condicionaron la sedimentación reciente en Portoviejo.

CAPÍTULO II

2. MARCO GEOLÓGICO

Debido a los objetivos de este trabajo se describe el contexto Geodinámico presente, así como el marco geológico de las unidades paleógenas y neógenas en el área de estudio. Posteriormente, se detallan las características generales de los principales grupos fósiles abundantes en la zona de estudio, para mayor comprensión de los rasgos que permiten su identificación, y la información bioestratigráfica.

2.1. Contexto Geodinámico

El Ecuador se localiza en el NW de América del Sur, forma parte de un sistema de convergencia de placas activo que se caracteriza por la subducción de la Placa Nazca bajo la placa Sudamericana en dirección E con una velocidad promedio de 5,7 cm/año (Trenkamp et al., 2002). El Ecuador comprende varios dominios estructurales: la región costa, la Cordillera Occidental, el Valle Interandino, la Cordillera Real y la Cuenca Oriente.

La margen costera del Ecuador constituye una gran cuenca de antearco que está compuesta por rocas principalmente sedimentarias de ambiente marino, con un zócalo cretácico como basamento, cuyas edades varían desde el Cretácico hasta el Cuaternario. (Reyes, 2013)

El valle Interandino se sitúa entre las dos cordilleras (Occidental y Real), presenta rocas erosionadas de las mismas y depósitos volcánicos del Plio-Cuaternario (Barberi et al., 1988).

La Cuenca Oriente, constituye una cuenca foreland de trasarco en los Andes ecuatorianos (Baby et al., 2013) que está localizada sobre el cratón Guayanés de edad Precámbrica (Litherland et al., 1994). Las rocas de la cuenca sedimentaria son sedimentos marinos, marino-someros y facies continentales del Mesozoico y Cenozoico.

2.2. Geología Regional

El borde noroeste del Ecuador se caracteriza por la superposición de terrenos alóctonos de naturaleza oceánica y otros autóctonos de naturaleza continental. La parte alóctona constituye el basamento de la margen costera del Ecuador. La cuenca de antearco presenta potentes secuencias sedimentarias de ambiente marino, con un basamento cretácico de

rocas máficas, cuyas edades varían desde el Cretácico hasta el Cuaternario. La estratigrafía Neógena a lo largo de la región costera del Ecuador se compone de cinco Formaciones estratigráficas: Dos Bocas, Villingota, Angostura, Ónzole y Borbón (Reyes y Michaud, 2012).

En el Cuaternario, la sedimentación marina está representada por la Formación Tablazo del Pleistoceno, que está formada por terrazas marinas de lumaquelas, areniscas con conchas, y niveles de conglomerados centimétricos de ambiente marino somero (Deniaud, 2000; Ordoñez et al., 2006). Localmente afloran Formaciones Pleistocenas marino-continuales como la Formación Jama que está presente en la zona del mismo nombre, y de acuerdo con Reyes (2013) se correlaciona con el miembro volcánico El Matal (QPB_{SJe}) que también es reportada por Cantalamessa et al. (2005). Los depósitos cuaternarios más recientes no consolidados de la Cordillera Costera se encuentran a lo largo de los ríos como terrazas fluviales y sus depósitos marinos más recientes (QH_t Fig. 2.2) (Reyes 2013).

2.3. Geología del Área de Estudio

Las cuencas costeras identificadas en la región son principalmente: la Cuenca de Borbón en Esmeraldas, las Cuencas de Manabí y Manta en Manabí y la Cuenca Progreso en Guayas. El área de estudio se encuentra en la Cuenca de Manabí, la cual se localiza en el borde oriental de la Cordillera Costera entre la Cordillera de Chongón Colonche al sur y el alto de Esmeraldas al norte. La cuenca está dispuesta en dirección NNE-SSO, limita al oeste por las fallas Cascol, Jipijapa y Flavio Alfaro (Fig. 2.1); y hacia el este por la falla Pichincha (Reyes y Michaud, 2012).

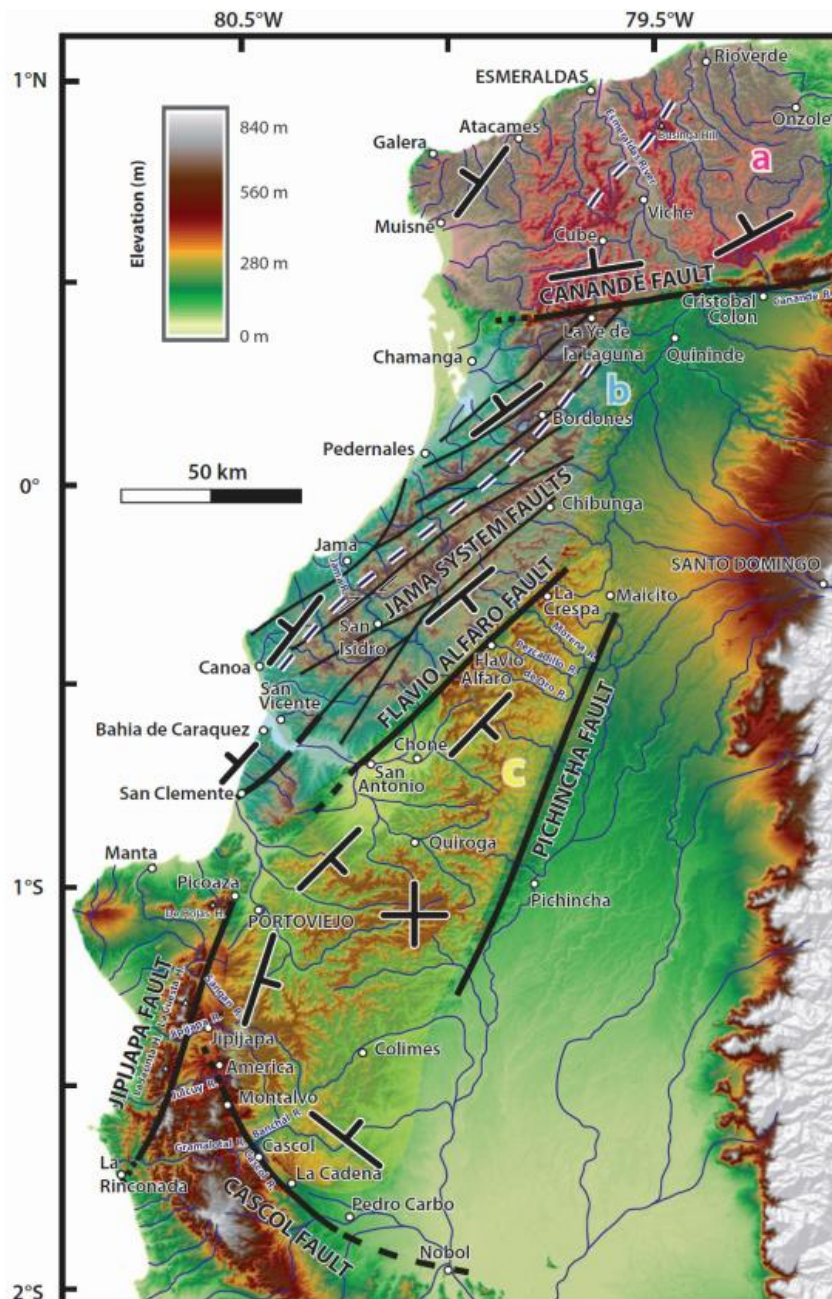


Figura 2.1. Cuencas sedimentarias de la región y estructuras principales de la Cuenca de Manabí de acuerdo con Reyes y Michaud (2012).

La falla Cascol (F4, en Fig. 2.2) ubicada al norte del masivo Chongón Colonche tiene una dirección NWSE y se extiende desde el sur de la ciudad de Jipijapa hasta el pueblo Pedro Carbo, con una longitud de 70km. Esta falla cruza las rocas sedimentarias del Mioceno del borde sur de la cuenca de Manabí y tiene un buzamiento hacia el noreste. La falla actuaba como una falla normal controlando los depósitos de sedimentos al norte, pero después, se volvió inversa y produjo un desplazamiento entre las rocas del Mioceno (Reyes, 2013).

La falla Jipijapa (F5, en Fig. 2.2), era conocida como falla Portoviejo. Se localiza al SW de la cuenca de Manabí, al este de la ciudad de Jipijapa, presenta una dirección NNE-SSW y tiene una longitud de 85km. Esta falla pone en contacto las rocas del Cretácico con las rocas sedimentarias de la cuenca de Manabí del Mioceno (Reyes, 2013). Tiene un buzamiento probablemente vertical. La falla actuaba como falla normal durante la depositación de la cuenca de Manabí, pero actualmente actúa como una falla inversa de strike slip y levanta el basamento cretácico contra la cuenca de Manabí. Al Oeste de esta falla se puede observar algunos segmentos de cabalgamientos que presentan la misma dirección de esta falla pero que afectan a la cuenca de Manabí.

La falla Flavio Alfar (F7, en Fig. 2.2) está localizada en los alrededores del poblado del mismo nombre, se considera como el límite sudoeste del sistema de fallas de Jama. Esta falla tiene un movimiento transcurrente dextral inverso y una longitud aproximada de 50 km (Reyes, 2013). Su longitud es importante, pero se encuentra interrumpida a la altura de los afloramientos cuaternarios correspondientes a los valles aluviales de Río Chico y Portoviejo, bajo los cuales aparentemente se encuentra oculta y por lo tanto su traza se considera una incógnita en el respectivo tramo debido a la carencia de estudios neotectónicos (Reyes y Michaud, 2012).

La falla Pichincha (F8, en Fig. 2.2) constituye el límite entre la cuenca sedimentaria de Manabí y la cuenca hidrográfica del río Guayas; tiene una extensión de 140 km hacia el norte del poblado de Pichincha en dirección NNE-SSO y puede ser prolongada más al sur. Esta falla limita las rocas del Plioceno de las rocas de Cuaternario (Reyes, 2013).

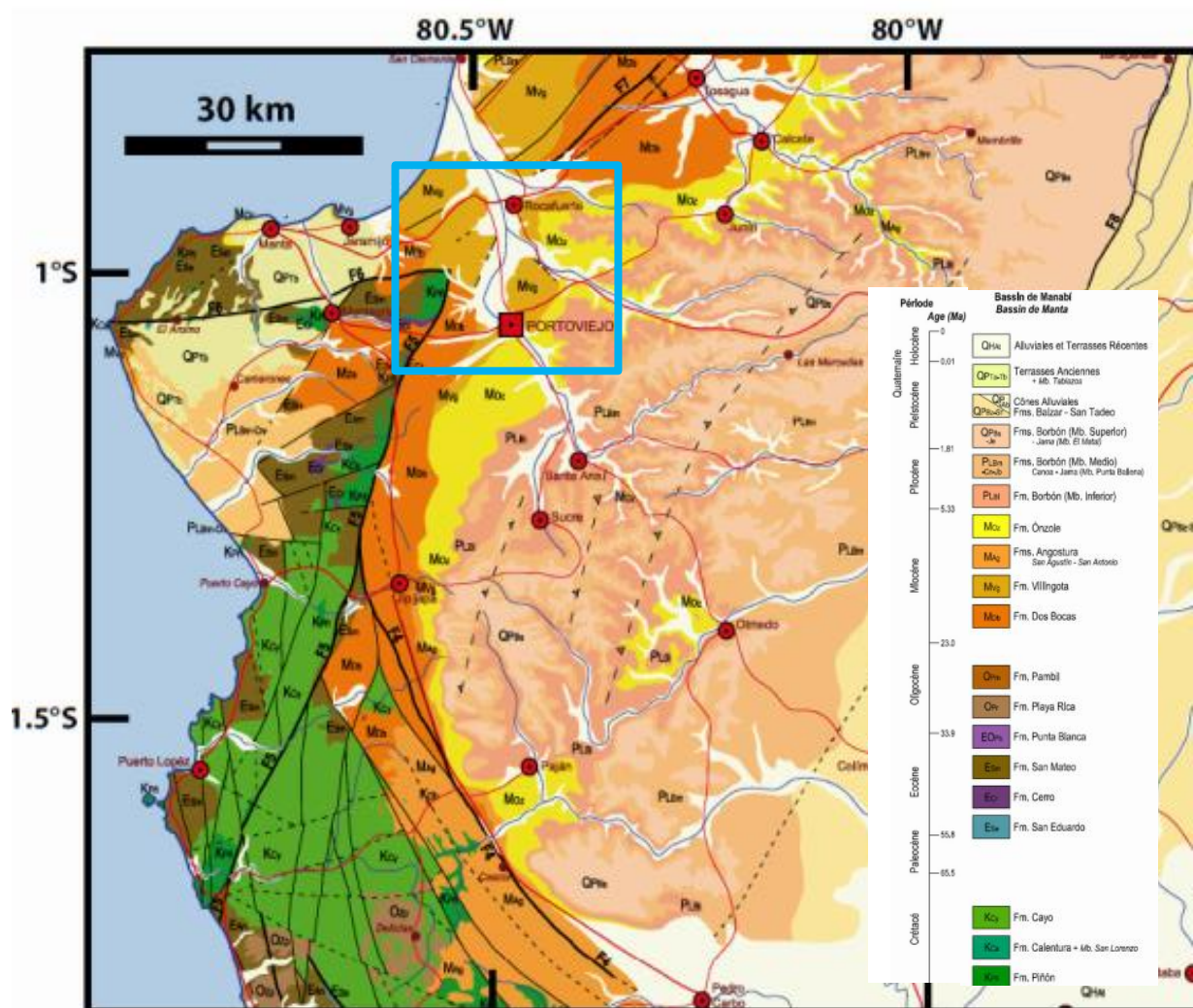


Figura 2.2. Geología del sector de Manta Jipijapa en el que se encuentran las Cuencas de Manta y Manabí; se observa la ubicación de la zona de estudio en el rectángulo celeste. Modificado de Reyes y Michaud (2012).

La estratigrafía de la Cuenca de Manabí varía de norte a sur, algunas Formaciones desaparecen y otras disminuyen su espesor, sin embargo, las unidades sedimentarias predominantes comprenden areniscas, limolitas y lutitas (Reyes y Michaud, 2012) (Figs. 2.2 y 2.3).

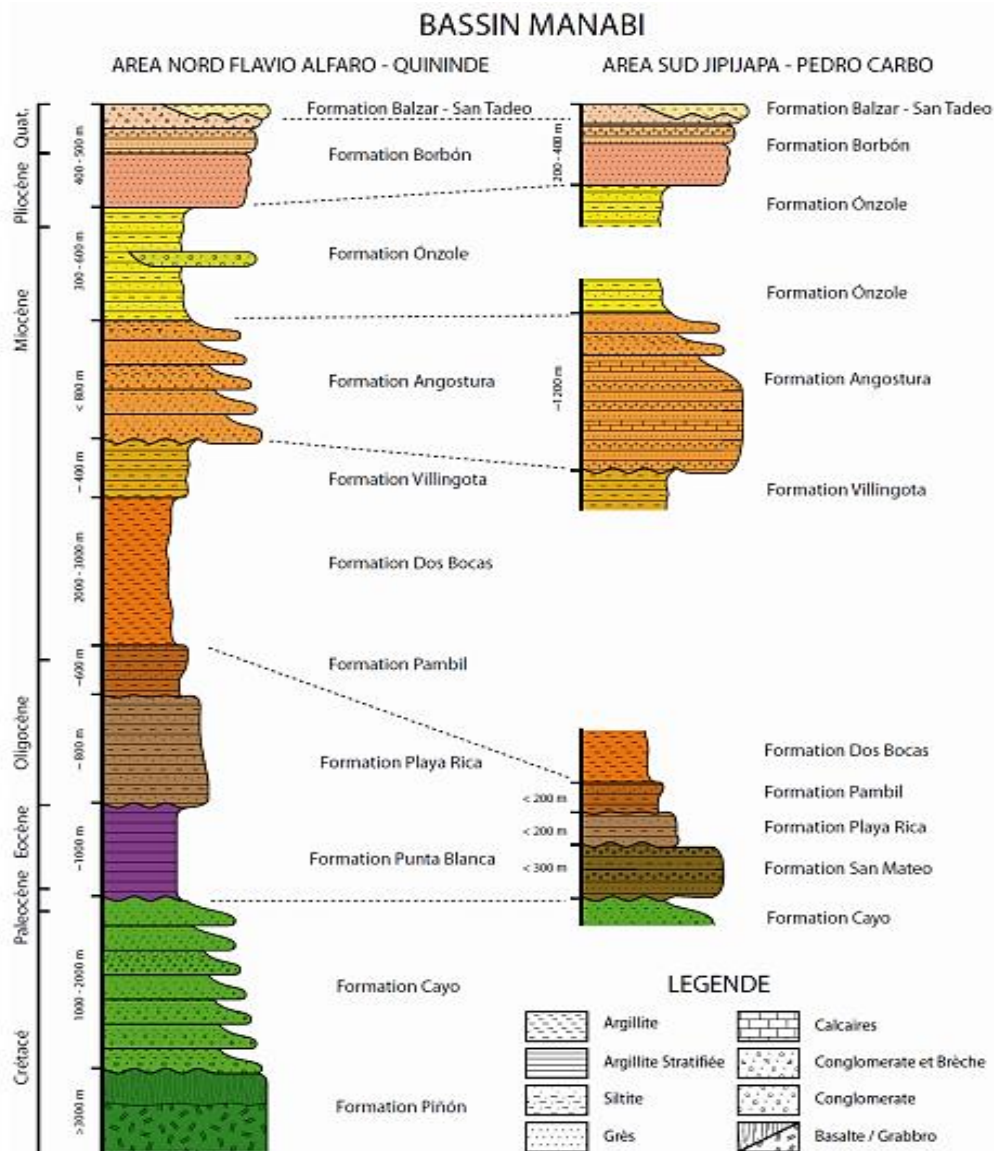


Figura 2.3. Columna estratigráfica de la cuenca sedimentaria de Manabí. Tomado de Reyes (2013).

SECUENCIAS CRETÁCEAS

2.3.1. Formación Piñón

En la Costa central del Ecuador aflora como un cinturón discontinuo y es más extenso en la Cordillera Chongón Colonche. La Formación está expuesta en la localidad del Río Piñón, comprende un amplio rango de litologías máficas, incluyendo wehrlitas, gabros, flujos de lava andesíticas-basálticas, doleritas, hialoclastitas, pillow lavas y basaltos columnares (Luzieux, 2007).

De acuerdo con datos paleomagnéticos y su cobertura sedimentaria, la edad de la Formación Piñón es Turionano Coniaciano y corresponde a un plateau oceánico.

2.3.2. Formación Cayo

La localidad tipo se encuentra en la orilla S de la Bahía de Puerto Cayo (Bristow y Hoffstetter, 1977). Las rocas de la Formación Cayo se describen como brechas volcánicas compuestas de: fragmentos de basaltos, andesitas y fenocristales de piroxeno, y grauwacas.

De acuerdo con Bristow y Hoffstetter (1977) la Formación Cayo es del Cretácico Superior, de edad Santoniano Superior a Maastrichtiano.

La interpretación del ambiente de depósito para la Formación Cayo es que los sedimentos provienen de la erosión y actividad volcánica contemporánea de un arco inmaduro y movilizado por corrientes turbidíticas en un ambiente de talud continental (Ordóñez, 2006).

SECUENCIA PALEOGENAS

2.3.3. Formación San Mateo

Se localiza en el sur de la Cuenca de Manabí sobre las Calizas San Eduardo y consiste en areniscas de grano fino a medio, areniscas laminadas, sobre un conglomerado basal; se observan dunas y estructuras de carga en la base de la secuencia. Además de gruesas capas de lutitas y capas de margas que disminuyen su espesor en las secuencias superiores. El techo de la Formación se compone de conglomerados gruesos, que se observan en Puerto López (Luzieux, 2007).

Su edad es Eoceno Medio Tardío a Superior (Baldock, 1982). Se interpreta como flujos turbidíticos de alta densidad ordenados en una secuencia granocreciente, que representa un sistema de abanico que prograda dentro de un ambiente semipelágico (Luzieux, 2007).

2.3.4. Formación Punta Blanca

El final del Eoceno e inicios del Oligoceno está representado por la Formación Punta Blanca que se caracteriza por rocas pelíticas silíceas y diatomáceas de origen marino con un espesor de 1000m (Bristow y Hoffstetter, 1977). Esta Formación aflora principalmente en los alrededores del sistema de fallas de Jama y de forma puntual, en discordancia sobre las Formaciones más antiguas del Cretácico (Reyes, 2013).

SECUENCIAS DEL OLIGOCENO

2.3.5. Formación Playa Rica

Los depósitos se caracterizan por series volcanoclásticas a la base, compuestas por capas de areniscas gris y verdosas interestratificadas con limolitas y lutitas de 800 m de espesor (Olsson, 1942).

2.3.6. Formación Pambil

La Formación Pambil se conforma de capas de limolitas de color gris verdoso interestratificadas con tobas gris en bandas, cuyo espesor alcanzaría 750m. Esta Formación aflora localmente al norte, en el sistema de fallas de Jama y de Canandé; y principalmente alrededor del Domo de Businga (Reyes, 2013).

SECUENCIAS NEÓGENAS

2.3.7. Formación Dos Bocas

Los afloramientos están mejor expuestos alrededor del sector de Tosagua, su espesor está entre 2,5 a 3 km. Esta Formación se encuentra a la base de la secuencia miocénica y comprende rocas pelíticas y lutitas laminadas de color chocolate localmente intersectados por diques sedimentarios de areniscas y algunas vetillas delgadas de yeso. Además, presenta concreciones calcáreas y acumulaciones locales de óxidos de hierro. (Reyes, 2013).

La edad de la Formación Dos Bocas corresponde a Mioceno Temprano a Mioceno Medio, y es interpretada como un paleoambiente de mar abierto, específicamente de tipo batial.

2.3.8. Formación Villingota

Los afloramientos principales se sitúan al norte de la península de Manta y en la península de Santa Elena, su espesor está comprendido entre 300 y 600 m.

La Formación Villingota de acuerdo con Deniaud, (2000) se conforma de:

- Arcillas grises claro a blanco, laminadas, físciles a diatomáceas, con espinas de pescado y foraminíferos.
- Intercalaciones de arcillas grises sin diatomeas, mas tobáceas y arenosas.
- Limolitas calcáreas en estratos centimétricos bien estratificados frecuentemente concrecionados.

Ordoñez (1986) señala que la fauna de la Formación Villingota es similar a la Formación Dos Bocas y propone una edad promedio de Mioceno Inferior. La Formación Villingota se interpreta como un paleoambiente de Máxima Transgresión Marina (Deniaud, 2000).

2.3.9. Formación Angostura

Está formada desde la base al tope por areniscas blancas con cuarzo y areniscas litofeldespáticas con fragmentos de líticos y hornblenda, siltitas gris olivo, lutitas gris azul, fósiles y calcáreas; además de 100 metros de conglomerados y areniscas con conchas e intercalaciones de areniscas gris claro, poco calcáreas fósiles y con glauconita (Deniaud, 1998).

La edad de la Formación Angostura de acuerdo con la microfauna encontrada por Ordoñez (1988) es de Mioceno Medio a Superior. Su ambiente de depositación se interpreta como secuencias de progradación sublitorales (Benítez, 1995).

2.3.10. Formación Ónzole

La Formación Ónzole está dividida en dos Miembros: Inferior y Superior, que se encuentran separados por areniscas del Miembro Súa (Evans y Whittaker, 1982).

Miembro Inferior

Su composición litológica es de limolitas grises tufáceas que presentan vetillas de yeso e intercalaciones de estratos de arenas finas (Deniaud, 2000). Tiene una edad del Mioceno tardío (Ordoñez, 2006).

Miembro Súa

Se compone de areniscas amarillo-rojizas, de tamaño fino a grueso, lentes arcillosos e intercalaciones limosas. Benítez (1995) propone que el Miembro Súa tiene la misma significación que el Miembro Chococha y lo interpreta como un evento regresivo de corta duración.

Miembro Superior

Se conforman de argilitas y limolitas gris verdosas, con moluscos, escamas de pescados y microfauna de foraminíferos bentónicos y de radiolarios, intercalados con finos niveles areniscas y tobas centimétricas a decimétricas (Deniaud, 2000). Presenta un incremento y una mayor diversificación de la microfauna, que de acuerdo con sus dataciones corresponde a Plioceno Temprano (Ordoñez et al., 2006).

SECUENCIAS DEL PLIOCENO

2.3.11. Formación Borbón

Se superpone a las arcillas del Miembro Ónzole superior en contacto transicional, se compone de areniscas fosilíferas en secuencias estratocrecientes. En la base, se encuentran niveles de arcillas físciles gris verdoso con algunos foraminíferos bentónicos, hacia el tope se caracteriza por un nivel métrico con conchas (Deniaud, 1998, 2000).

La edad de la Formación Borbón considerando su posición estratigráfica es Plio-Pleistoceno (Ordoñez, 2006). La Formación fue depositada en un ambiente marino poco profundo (Deniaud, 2000).

2.3.12. Formación Balzar San Tadeo

La Formación Balzar San Tadeo se desarrolla al E de la Falla Pichincha, su espesor es de hasta 80 metros y está formada por series de lodolitas masivas de color marrón amarillento poco consolidadas y lahares (Reyes y Michaud, 2012).

La correlación regional de Reyes (2013) basada en las características litológicas, distribución de litofacies, posición estratigráfica y morfología define a la Formación Balzar como litofacies distales bien sorteada perteneciente a la Formación San Tadeo. Su edad se encuentra entre el final del Mioceno al Pleistoceno (Plioceno principalmente) (Baldock, 1982).

SECUENCIAS DEL CUATERNARIO

2.3.13. Depósitos Cuaternarios

La secuencia estratigráfica en la zona de estudio comprende una gran cantidad de depósitos más recientes del Cuaternario, que se han formado por procesos de erosión. Los depósitos cuaternarios en Portoviejo son de varios tipos como: coluvio-aluviales, flujos de lodo, depósitos fluvio marinos, depósitos coluviales y depósitos aluviales; además de deslizamientos y zonas antrópicas (Chacón, 2018).

Depósitos coluvio-aluviales (Qca)

Los depósitos coluvio-aluviales se encuentran formando conos de deyección con pendientes suaves en el cantón Portoviejo (SNI, 2012). Estos depósitos están formados por material

caótico semiconsolidado de arena y grava, de color crema los cuales alcanzan espesores de hasta 60 metros y posiblemente son de edad del Pleistoceno Inferior a Medio (Chacón, 2018).

Flujos de lodo (Qct)

Los flujos de lodo, también denominados coluvio-torrenciales, son aluviones ondulados de pendientes bajas (2-8°) depositados sobre la terraza del Río Portoviejo que se forman por material erosionado de colinas y se ubican al este del valle a lo largo de drenajes (Enríquez, 2018).

Estos materiales se sepultan y/o truncan con sedimentos fluvio-marinos y tienden a formar abanicos en el valle del río Portoviejo; los cuales debido a su estado preconolidado se estima que tienen una edad del Pleistoceno Medio a Superior (Chacón, 2018).

Depósitos Fluvio-marinos (Qfm)

La Ciudad de Portoviejo está construida sobre depósitos sedimentarios de origen fluvio-marino, los cuales se depositaron en el espacio de acomodación del actual valle del río Portoviejo, desde el centro de la ciudad en dirección al litoral de Crucita a San Clemente (Chacón, 2018).

Los depósitos fluvio-marinos se conforman por suelos arenosos y limo arcillosos de estuario, suelen presentar materia orgánica y carbonatos que resultan de aportes sedimentarios y marinos, en la zona intermareal (Alvarado, 2018). Estos depósitos posiblemente pertenecen a la ría fósil del Río Portoviejo de edad Pleistoceno Superior. (IGEPN, 2017).

Depósitos coluviales (Qc)

Son depósitos retrabajados, de acumulaciones de suelos residuales no consolidados, generados por la degradación de las Formaciones Dos Bocas, Villingota y Onzole (IGEPN, 2017). Los coluviales más antiguos se encuentran especialmente en la población de Andrés de Vera y Briones donde tienen un espesor de 30 metros y probablemente sean de edad Pleistoceno Superior. El material presenta clastos angulosos a subangulosos de 1 milímetro hasta 3 centímetros de lutitas y limolitas fracturadas, material semiconsolidado, clastos moderadamente clasificados y oxidados en matriz arcillo limosa (Chacón, 2018).

Depósitos aluviales (Qa)

Los depósitos aluviales se caracterizan por formar parte de terrazas medias y valles (SNI, 2012). Tienen una gran variedad de materiales intercalados que corresponden a limos de alta plasticidad color café a gris claro con bajo porcentaje de grava fina, arena limosa café clara con tonalidades amarillentas, limo arenoso de baja plasticidad, arcillas cafés de alta plasticidad y gravas subredondeadas con tamaños promedio de 6 mm (limos compactados, areniscas, lutitas) con presencia de yeso en matriz limo arenosa (PUCE, 2017).

El espesor de los sedimentos es menor a 50 metros al sur de Portoviejo y en los afluentes del río principal, mientras que en el centro y norte de la ciudad varía entre 50 y 150 metros. La fuente de estos depósitos se encuentra alrededor de la Ciudad de Portoviejo donde predominan rocas sedimentarias de grano fino comprendidas por lutitas y limolitas pertenecientes a las Formaciones Ónzole y Villingota; y las de tipo granular, areniscas de la Formación Borbón, ubicada al sureste de Portoviejo (Chacón, 2018).

2.4. Sismicidad

El área de estudio se encuentra en un margen convergente, que se caracteriza por una complejidad morfo-estructural debido a la tectónica activa interplaca, con tasas moderadas a altas en mm/año de levantamiento generado por la subducción de la Cordillera de Carnegie, como se evidencia en la elevación de terrazas marinas Plio-Cuaternarias (Yepez et al., 2016; Alvarado, 2018).

En la región litoral aproximadamente durante el último siglo, ha habido cinco grandes terremotos asociados con la subducción ocurridos en los años: 1906 (M_w 8.8), 1942 (M_w 7.8), 1958 (M_w 7.8), 1979 (M_w 8.1), 2016 (M_w 7.8), los cuales tienen planos de fallas que se extienden más de los 100 km de ruptura (Fig. 2.3), por lo que se la considera una zona de alto riesgo sísmico. (Yepes et al., 2016; Alvarado, 2018)

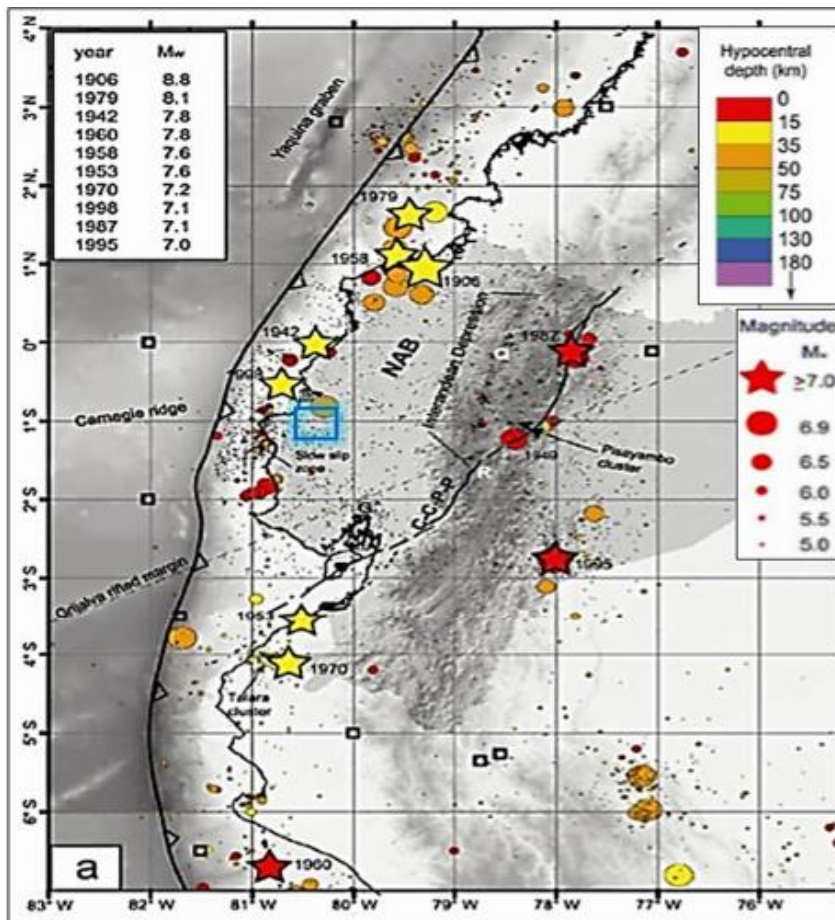


Figura 2.4. Sismicidad superficial en la zona de interfase, profundidad hipocentral $Z \leq 50m$. La zona de estudio se delimita con el recuadro azul de acuerdo con Yepes et al, 2016 (Tomado de Alvarado, 2018).

2.5. Micropaleontología: Foraminíferos

2.5.1. Introducción

Los Foraminíferos son organismos unicelulares o acelulares por lo cual forman parte del Reino Protista, Superphylum Rizharia y al Phylum Foraminífera; su citoplasma celular está dividido en ectoplasma y endoplasma, por esta razón se los incluye en el Subphylum Sarcodina; además presentan proyecciones citoplasmáticas en forma de pseudopodos anastomosados o reticulopodios lo que permite ubicarlos dentro de la Clase Foraminífera (Láprida, 1997; Molina, 2004).

Estos organismos presentan algunas células del protoplasma encapsuladas en una cobertura calcárea secretada o aglutinada, que se caracterizan por tener una o más cavidades denominadas cámaras. Si presentan más de una cámara, ambas son divididas por una pared,

que se llama septum. El protoplasma se presenta continuo entre las cámaras a través de un orificio en el septum que recibe el nombre de foramen. Foraminífero es un término compuesto que se deriva del Latín, de Foramen que significa orificio; y ferre: arista, que describen las características de estos organismos portadores de orificios y aristas (Haq & Boersma, 1998).

Los foraminíferos constituyen el grupo de microfósiles calcáreos más estudiado, que habitan casi exclusivamente en el ambiente marino y son de tamaño reducido, su talla varía entre los 0,1 mm y 1 mm, aunque los hay mayores (Laprida, 1997). Estos organismos son usados para aplicaciones de bioestratigrafía, datación de edades y correlación de sedimentos, e interpretación de paleoambientes (Loeblich & Tappan, 1988).

Los foraminíferos están divididos en dos grupos de acuerdo con su forma de vida: foraminíferos bentónicos y planctónicos. Las formas bentónicas están presentes en las profundidades en el ecosistema marino. Estos organismos tienen tamaños variados desde menos de 100 μm de diámetro a un ancho de varios centímetros. Se caracterizan por poseer caparazones aglutinados (de cuarzo u otras partículas inorgánicas que se encuentran pegadas junto con cementos calcáreos u orgánicos), o puede ser producido y compuesto por calcita, aragonito o (rara vez) sílice. Este grupo incluye muchas especies que viven unidas al substrato o que viven libremente cerca del fondo marino, además incluye organismos que tienen paredes orgánicas y pequeños foraminíferos aglutinados que dominan las profundidades marinas de la microfauna bentónica (Boudagher-Fadel, 2013).

Los foraminíferos planctónicos (Fig. 2.5) presentan a menudo cámaras relativamente globulares compuestas por calcita o aragonito secretado. Estos organismos no superan los 600 μm de diámetro y flotan libremente en el agua superficial en los océanos del mundo. Los organismos planctónicos viven en la columna de agua desde la zona de superficie a las profundidades sobre los 1000 m. Su ocurrencia global ocupa una amplia zona de latitud y temperatura que incluye hábitats variados como parte del zooplancton marino (Boudagher-Fadel, 2013; Haq & Boersma, 1998).

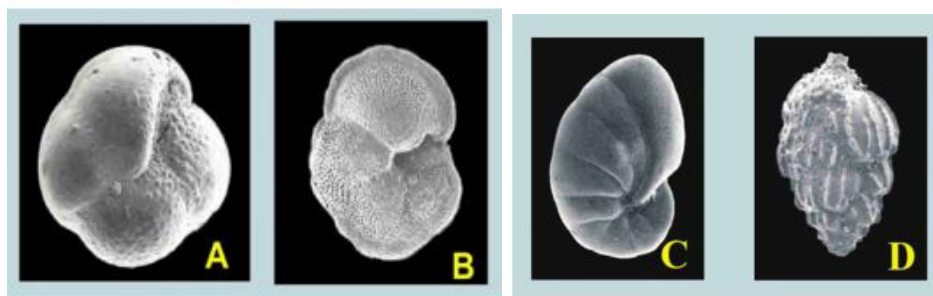


Figura 2.5. Ejemplos de Foraminíferos planctónicos. *Pulleniatina obliquiloculata*; B) *Globorotalia tumida*. C) *Nonion grateloupi*; D) *Uvigerina peregrina*. Tomado de Ordóñez et al (2006).

En cuanto a la alimentación, algunas especies de foraminíferos suelen vivir en una relación simbiótica con algas, los foraminíferos bentónicos se alimentan de diatomeas, algas, bacterias y materia orgánica; mientras que los foraminíferos planctónicos ingieren diatomeas planctónicas, algas y microplancton. Su crecimiento generalmente es periódico, e involucra un crecimiento en tamaño por precipitación o acreción.

2.5.2. Importancia del Estudio de Foraminíferos

Los foraminíferos se caracterizan por ser el grupo más importante de microfósiles debido a su significancia estratigráfica y su valor como indicadores paleoambientales. Por esta razón, este grupo de organismos es una herramienta clásica en el estudio de secuencias estratigráficas marinas. El rango bioestratigráfico establecido para los foraminíferos es desde el Cámbrico Temprano-Reciente (Láprida, 1997; Saraswati & Srinivasan, 2015).

Este grupo de organismos fósiles es el más usado para bioestratigrafía, asignación de edades, e interpretaciones paleoambientes; además, proporciona datos ecológicos, debido a la mineralización de sus conchas, es un registro geoquímico de paleotemperaturas, glaciaciones, entre otras aplicaciones paleogeográficas (Loeblich & Tappan, 1988).

2.5.3. Clasificación de Foraminíferos

La clasificación de los foraminíferos es detallada y compleja, varios autores han propuesto distintas y extensas clasificaciones sistemáticas, por ejemplo, Chapman, 1902; Cushman, 1927-1948; Haynes, 1981; Loeblich and Tappan, 1964. Otras publicaciones recientes enfatizan al género de foraminíferos planctónicos y otros seleccionan grupos de regiones geográficas limitadas o periodos geológicos.

La clasificación general con mayor aceptación es la de Loeblich & Tappan (1987), que incluye 12 subórdenes, 74 superfamilias, 296 familias y 302 subfamilias. Esta clasificación considera características de los microfósiles como: la mineralogía, microtextura, estructura de la pared y composición, formas y disposición de las cámaras, aberturas y ornamentación (Fig. 2.6).

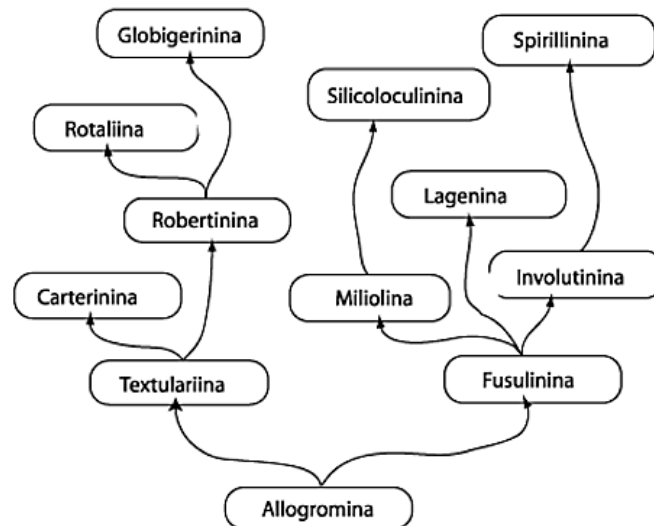


Figura 2.6. Subórdenes de foraminíferos y su filogenia según Loeblich & Tappan (1988). Tomado de Ali et al., (2015).

A continuación, se describen las características que se consideran para la Clasificación de los Foraminíferos (Modificado de Láprida, 1997).

2.5.3.1. Forma y arquitectura de las cámaras

Los caparazones tienen formas diversas y variables que son importantes para su clasificación (Fig. 2.7). Los contactos externos entre las cámaras consecutivas se denominan suturas camerales. Las mismas que presentan formas rectas, curvas, sinuosas, sobreelevadas, deprimidas, al límite de la superficie; radiales u oblicuas con respecto al margen del caparazón.

TEST MORPHOLOGY AND COMPOSITION

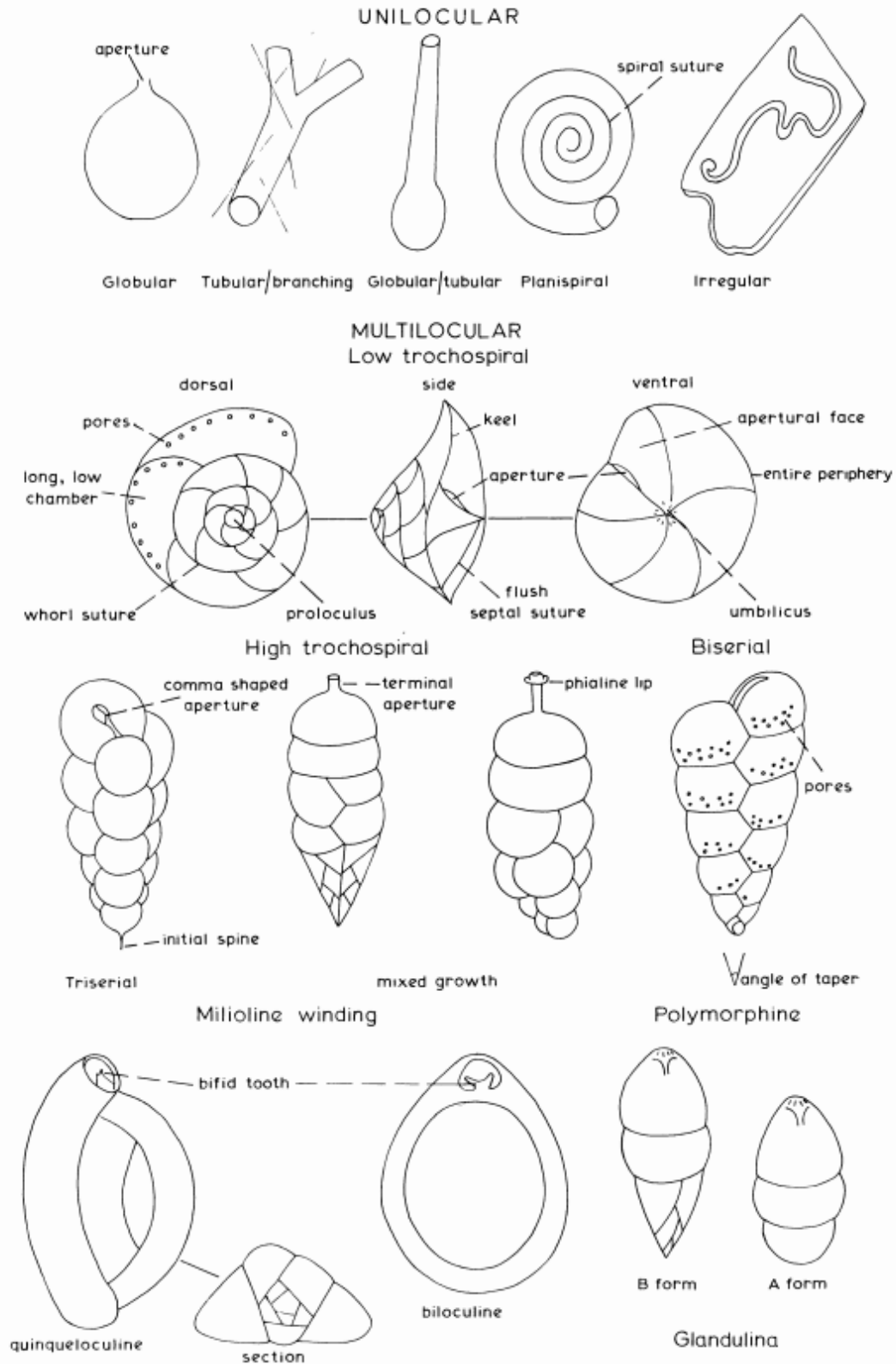


Figura 2.7. Morfología y distribución de las cámaras de Foraminíferos. Tipos de enrollamiento: unilocular, trocoespiral, miliolido y polimorfo. Tomado de Haynes (1981).

TEST MORPHOLOGY AND COMPOSITION

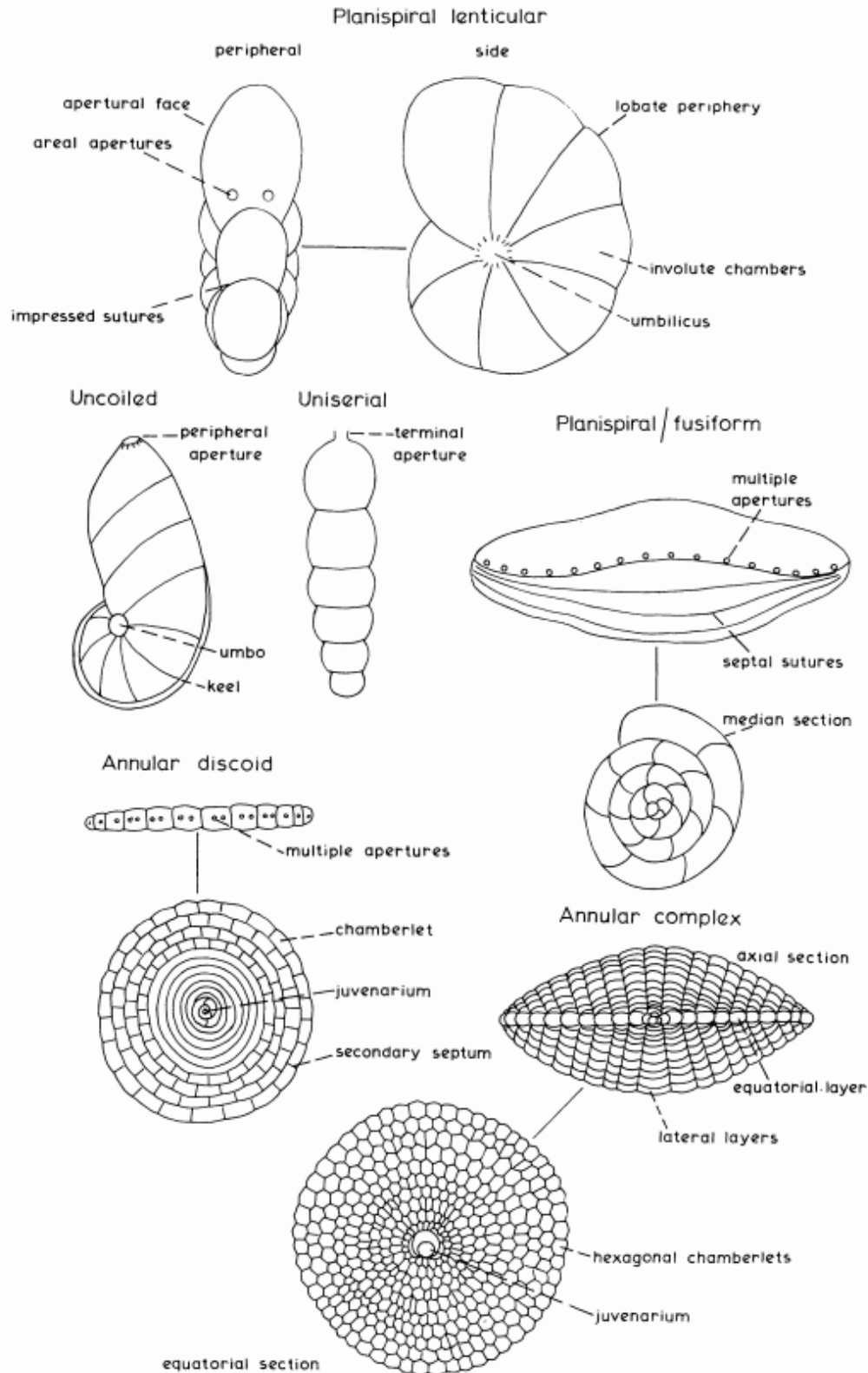


Figura 2.8. Morfología y distribución de las cámaras de Foraminíferos. Tipos de enrollamiento: planispiral, uniserial, discoidal anular y complejo. Tomado de Haynes (1981).

Disposiciones de las cámaras en los Foraminíferos

Número de cámaras

De acuerdo con el número de cámaras que presenta su caparazón, los foraminíferos se dividen en uniloculares, multiloculares, trocoespirales, estreptospirales y miliólidos.

Uniloculares: si presentan una sola cámara se denomina: prolóculo, en ciertas ocasiones es seguida por una segunda cámara que tiene diversas formas. Sus cámaras con formas de globos, de matraz e irregulares.

Multiloculares: tienen el prolóculo seguido por más de una cámara con diversas disposiciones. Tienen formas de globo, tubulares, comprimidas o en luna (Figs. 2.6 y 2.7). De acuerdo con la disposición de sus cámaras tienen forma serial y planoespiral.

Serial: las cámaras se sitúan en series en disposición de línea recta o curva, pueden ser: uniseriales, biseriales y triseriales.

Uniserial: si las cámaras se disponen en una serie rectilínea o arqueada.

Biserial: se agregan dos cámaras por vuelta.

Triserial: el número de cámaras adicionado por vuelta es tres.

Planoespiral: las cámaras se encuentran enrolladas en un único plano. Se llaman involuta si todas las cámaras son visibles. Reciben el nombre de evoluta si existe una superposición marcada y las cámaras tienen vueltas sucesivas que tapan total o parcialmente las cámaras de las vueltas previas.

Trocoespiral: las cámaras sucesivas se agregan formando una espiral baja. Los caparazones pueden ser involutos o evolutos, además se reconoce un lado espiral donde son visibles el total o la mayor parte de las vueltas y un lado umbilical, en el que solo puede visibilizarse la última vuelta.

Estreptoespiral: las cámaras sucesivas se ubican en los diversos planos de disposición.

Miliólido: se observa en el orden del mismo nombre y se caracteriza por presentar dos cámaras en cada vuelta, estas se encuentran en un plano que se aleja del plano de la vuelta previa a una cantidad de grados constante. Los miliólidos pueden ser de 180° (Pyrgo), 144° (Quinqueloculina) ó 120° (Triloculina).

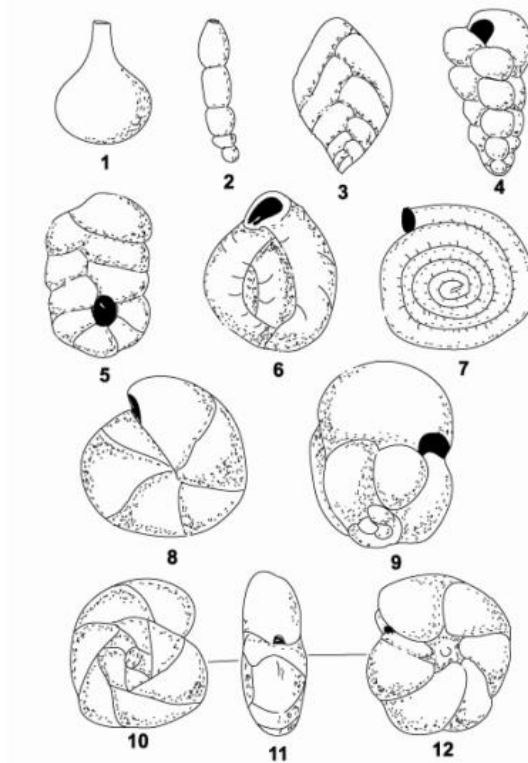


Figura 2.9. Principales tipos de disposiciones de las cámaras de Foraminíferos. (1) Cámara única, (2) Uniserial, (3) Biserial, (4) Triserial, (5) Planispiral a biserial, (6) Miliólido, (7) Planispiral evoluta, (8) Planispiral involuta, (9) Estreptospirale, (10 a 12) Trocoespiral, (10, vista dorsal; 11, vista de borde; 12, vista ventral). Tomado de Loeblich and Tappan (1964).

2.5.3.2. Aberturas

Una abertura es un orificio primario por el cual el citoplasma se proyecta hacia el exterior y se ubica en la última cámara formada. La forma que presenta es diversa, por ejemplo: redondeada, con cuello de botella (phialine), radiada, dendrítica, de tipo cribado, circular, en forma de hendidura o de lazo, en arco, en media luna, etc. La ubicación puede ser terminal o subterminal, basal o interiomarginal (situadas en la base de la última cámara), areal (en el centro de la última cámara), periférica, umbilical o lateral (Fig. 2.9).

Existe además de la abertura principal otras que se denominan secundarias que pueden ser modificadas por la presencia de: dientes (simples o bífidos), labio, etc.

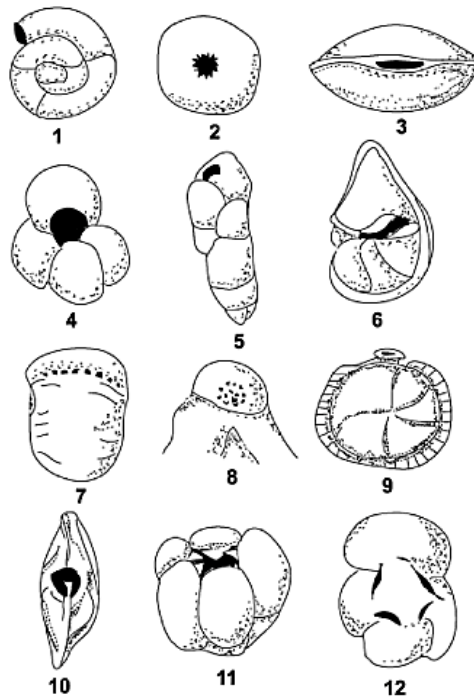


Figura 2.10. Principales tipos de Aberturas de Foraminíferos. 1. Extremo abierto en tubo; 2. Terminal radiada; 3. Terminal en forma de ojal, umbilical; 4. Intraumbilical arqueada alta; 5. Basal en forma de lazo; 6. Interiomarginal; 7. Interiomarginal múltiple; 8. Areal en criba; 9. Con labio amplio; 10. Con diente bifido; 11. Dientes umbilicales; 12. Bulla umbilical (Tomado de Loeblich & Tappan, 1964).

2.5.3.3. Estructura de la pared

Una de las características más importantes para la clasificación de los foraminíferos es la manera como se construye su concha. El proceso puede realizarse por cementación de granos exógenos adyacentes, por mineralización carbonatada, o por una combinación de estos dos procesos (Lasluisa & Moreno, 2018). Los grupos principales de cementaciones se muestran en la figura 2.10.

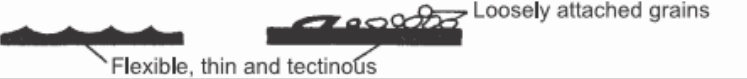

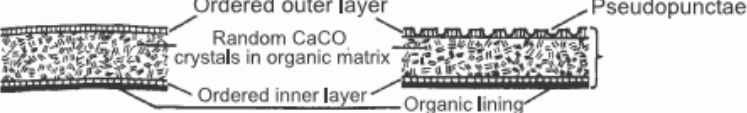
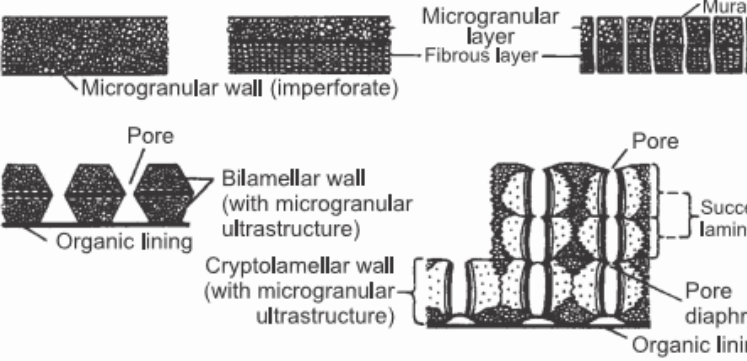
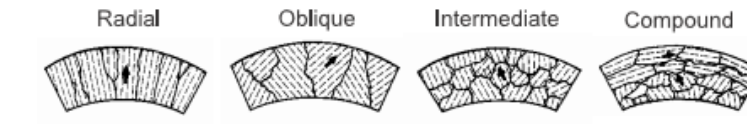
	Wall Structure	Suborder
Tectinuous	 <p>Flexible, thin and tectinuous</p> <p>Loosely attached grains</p>	Allogromiina
Agglutinated	 <p>Agglutinated wall</p> <p>Organic lining</p> <p>Alveoli (labyrinthic wall)</p>	Textulariina
Porcelaneous	 <p>Ordered outer layer</p> <p>Random CaCO₃ crystals in organic matrix</p> <p>Ordered inner layer</p> <p>Organic lining</p> <p>Pseudopunctae</p>	Miliolina
Microgranular + Microgranular compound	 <p>Microgranular wall (imperforate)</p> <p>Fibrous layer</p> <p>Microgranular layer</p> <p>Mural pore</p> <p>Pore</p> <p>Organic lining</p> <p>Bilamellar wall (with microgranular ultrastructure)</p> <p>Cryptolamellar wall (with microgranular ultrastructure)</p> <p>Pore</p> <p>Successive laminae</p> <p>Pore diaphragm</p> <p>Organic lining</p>	Fusulinina Globigerinina Spirillinina Involutinina (arag) Robertinina (arag)
Hyaline	 <p>Radial</p> <p>Oblique</p> <p>Intermediate</p> <p>Compound</p>	Rotaliina

Figura 2.11. Ejemplos de estructuras de la pared (diagrama, basado en estudios usando escáner microscópico electrónico). Tomado de Armstrong & Brasier (2005)

I. Pared Aglutinada

El caparazón se forma por adición de materia orgánica y minerales del fondo marino unido por una secreción del organismo que puede ser orgánica, calcárea o cemento de óxido férrico secretado por el organismo (Molina, 2004).

En corte, puede observarse que la pared grada de granos de menor tamaño, ubicados en forma proximal respecto de la capa de secretada, a granos de mayor tamaño en la periferia.

II. Pared Calcárea Imperforada

Está formada de calcita microgranular imperforada secretada por el microorganismo, de apariencia de porcelana. Presentan un importante porcentaje de calcita magnesiana.

III. Pared Calcárea Microgranular

Sus paredes están constituidas por microcristales de calcita, cementadas por cemento calcáreo.

IV. Pared Calcárea Perforada

Los cristales de calcita microgranular perforada, de aspecto hialino de origen endógeno (secretado por el mismo organismo). Poseen una cantidad variable de calcita magnesiana; sólo en unas pocas familias presentan caparazones aragoníticos. Las paredes están atravesadas por pequeñas perforaciones.

2.5.3.4. Ornamentación

La superficie externa del caparazón de los foraminíferos puede ser lisa o estar ornamentada con espinas, costillas, protuberancias, pústulas, pliegues, hileras, redes o granulaciones.

La ornamentación es un rasgo constante dentro de una especie, aunque las variaciones intraespecíficas no son raras: éstas pueden reflejar diferentes condiciones ambientales, y son denominadas ecofenotípicas (Láprida, 1997). Los estilos de ornamentación son propios de formas vivas de aguas cálidas y saturadas en carbonato de calcio.

2.5.4. Taxonomía Orden FORAMINIFERIDA

Suborden MILIOLINA

El suborden Miliolina aparece en el Carbonífero y persiste hasta la actualidad, es un grupo de gran importancia desde el punto de vista bioestratigráfico y paleoecológico, que se caracteriza por tener una concha calcítica aporcelanada (Figs. 2.7, 2.8), esta apariencia la adquiere debido a la orientación de los cristales de calcita en la pared de estos. Presentan tres tipos básicos de organización: planiespiralada, estreptoespiralada (9, de la Fig. 2.9), y crecimiento miliolínido (6, de la Fig. 2.8) (Molina, 2004; BouDagher-Fadel, 2008). Las formas de la abertura más comunes son terminal simple y múltiple.

Suborden TEXTULARIINA

El suborden Textulariina tiene una extensa diversidad taxonómica y morfológica, el cual es resultado de que las características de la concha, como la composición, mineralogía y estructura de la pared, se han utilizado como base para la separación sistemática de los foraminíferos. Su rango de edad va desde el Cámbrico temprano al Holoceno (actualidad).

Su concha aglutinada está formada de partículas externas sostenidas en una matriz mineralizada u orgánica. Su modo de enrollamiento puede ser planiespiral, uniserial, trocoespiral, globular (Figs. 2.7, 2.8). Además, la forma de su abertura puede ser de tipo simple terminal, basal terminal simple o múltiple (Haynes, 1981).

Suborden ROTALIINA

Es un grupo extenso y abundante de foraminíferos que tiene un rango de edad desde el Triásico hasta el Holoceno (actualidad) que presentan conchas multiloculares, típicamente enrolladas, también tienen formas biseriales, uniserial, o pueden estar incrustadas con cámaras proliferadas como las trocoespirales, planiespirales (Figs. 2.7, 2.8). La pared de la concha es calcítica hialina laminada perforada, en la que los cristales hexagonales microscópicos están orientados de forma radial o granular (hialino oblicuo), además la superficie de la concha es lisa, estriada o porosa y su abertura varía entre las formas: simple terminal o múltiple, a su vez pueden tener una placa dental interna (10, 11 de la Fig. 2.9), un tubo entosolenio o una estructura semicilíndrica (Haynes, 1981).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Recopilación Bibliográfica y Cartográfica de la Zona

El presente estudio se centra en el análisis del contenido de microfósiles del relleno del Valle de Portoviejo, para lo que se recopiló información bibliográfica y cartográfica (Fig. 3.1) sobre los trabajos previos en la zona de estudio.

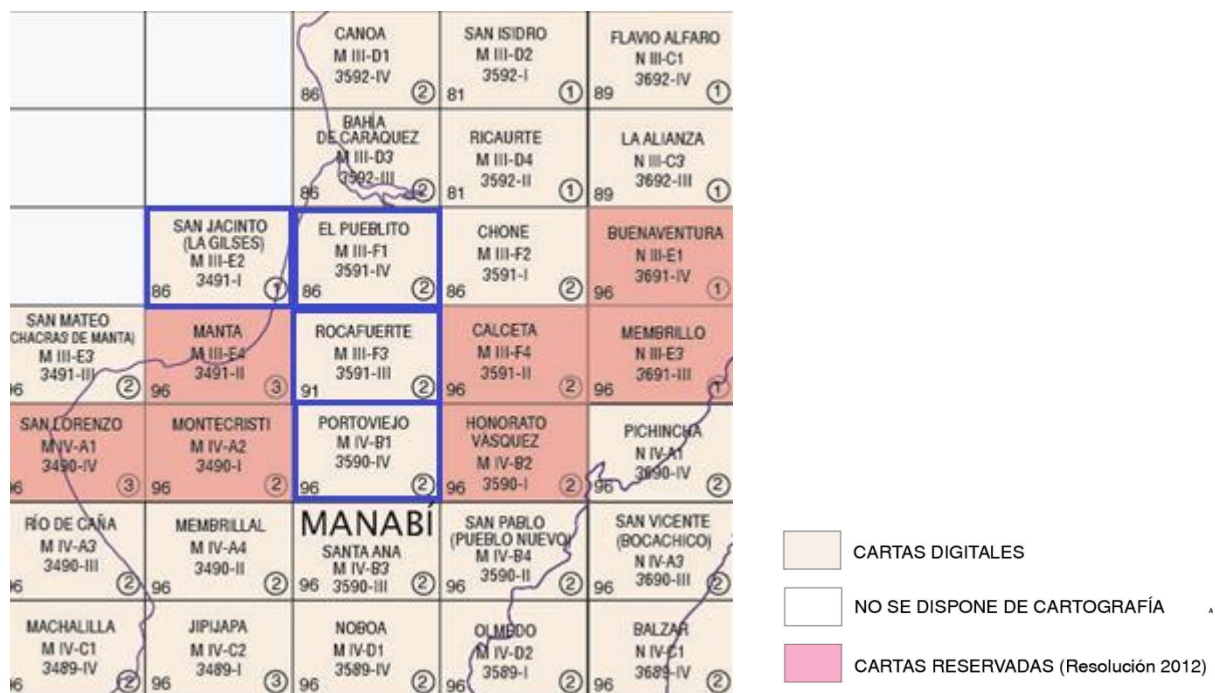


Figura 3.1. Cartografía utilizada de la zona de estudio clasificada por disponibilidad de cartas al público. Modificado de IGM.

Luego de considerar la información previa y ubicación de los 19 sondeos de perforación realizados por el Área de Mecánica de Suelos PUCE en la ciudad de Portoviejo durante los meses de mayo y junio del año 2017, se seleccionaron aquellos más adecuados para resolver los objetivos planteados, que corresponden a los denominados: P-04 y P-15 (Ver ubicación en Fig. 1.1).

El testigo P-04 fue elegido por ser el más profundo (160 m) y en el caso del P-15 por situarse cerca de la costa. Ambos testigos fueron obtenidos mediante el método de rotoperCUSión con recuperación continua de testigo.

La perforación con rotoperCUSión es un sistema de penetración mecánico aplicable a todos los tipos de roca que se basa en la combinación de acciones como: percusión, rotación, empuje y barrido. La perforación con rotoperCUSión se realiza mediante impactos de un martillo que transfiere la energía a la herramienta perforadora (boca), el movimiento de rotación permite girar la boca para tener impactos en distintas posiciones de la roca, además del empuje que produce que la energía generada por el mecanismo de impacto del martillo se transmita a la roca y finalmente, el fluido de barrido permite extraer el detrito del fondo del barreno para que la perforación resulte eficaz (López, 1997).

3.2. Trabajo de campo y muestreo

Se realizaron jornadas de campo, para coleccionar muestras superficiales y nuevos testigos de perforación para su análisis dentro del Proyecto de Vinculación PVS-2018-028, financiado por la Escuela Politécnica Nacional.

Durante las campañas de campo, se recorrió los alrededores de la ciudad de Portoviejo y Crucita con la finalidad de recoleccionar muestras de varios afloramientos de las diferentes Formaciones geológicas del área de estudio, como Villingota, Onzole y Dos Bocas, para su estudio y comparación con las muestras de profundidad provenientes de las perforaciones.

Los nuevos sondeos de perforación se realizaron a inicios de 2019 mediante el Método de SPT en cinco puntos del cantón de Portoviejo (Ver ubicación en Fig.1.1).

El método SPT o prueba de penetración estándar es un método semidirecto de exploración del subsuelo que permite obtener un valor de resistencia (N) a la penetración estándar que puede ser correlacionado con las propiedades físicas y mecánicas del suelo (González de Vallejo et al, 2002). En este método, las muestras se recoleccionan en un tubo de acero partido longitudinalmente que posee un acople en la parte superior (“cuchara partida”), el cual se conecta a una barra de perforación y se lleva a la profundidad que se va a realizar la prueba. A continuación, se golpea el tomamuestras en el suelo con un martillo en la parte superior de la varilla de perforación cuyo peso corresponde a 63.5kg desde una altura de 75 cm. Durante el procedimiento se registra el número de golpes realizados durante la penetración en tres intervalos de 15cm, y es decir el valor de N es igual a la suma del número de golpes en los últimos 30cm del ensayo (Das, 2010). La muestra recoleccionada por la cuchara partida se recupera y se describen sus características litológicas, plasticidad y contenido de humedad.

Entre las perforaciones de esta campaña, para el estudio sedimentológico y paleontológico se eligieron los testigos de perforación PVS-4 y PVS-5, para correlacionarlos con los testigos de la primera campaña y completar una sección SE-NO.

3.2.1. Datos de las perforaciones

Los cuatro testigos de perforación se ubicaron en un transecto NNW-SSE, desde la Costa actual hasta la ciudad de Portoviejo (Tabla 1 y Fig. 1.1). Las perforaciones elegidas para el presente estudio fueron aquellas que se encontraban más alejadas del centro de la ciudad, en diferentes sectores del cantón Portoviejo y que presentaron mayor potencial fosilífero y/o profundidad.

Tabla 1. Datos de las perforaciones utilizadas en el presente estudio.

Testigo	Profundidad (m)	Coordenadas		Cota	Sector	Método de Extracción
		N	E			
P-04	160	9886295	558532	30	Portoviejo	RotoperCUSión
P-15	30	9902927	550749	4	Crucita	RotoperCUSión
PVS-4	30	9891181	562060	27	El Zapote	SPT
PVS-5	11	9907655	554990	3	San Silvestre	SPT

3.3. Descripción de los Testigos de Perforación

El logueo de los testigos de perforación comprende las descripciones litológicas, de fósiles y las estructuras sedimentarias presentes en los sondeos P-04 y P-15 en el Laboratorio de Sedimentología de la Escuela Politécnica Nacional. Posteriormente, se realizó el levantamiento de columnas estratigráficas para cada uno de los sondeos.

Las descripciones litológicas y levantamiento de columnas estratigráficas de los sondeos PVS-4 y PVS-5 fueron realizadas al momento de la recuperación de las muestras en las perforaciones realizadas por el método SPT.

Las columnas estratigráficas realizadas para los cuatro testigos de perforación permitieron estimar el potencial fosilífero de ciertos estratos y seleccionar los puntos de muestreo para su posterior análisis micropaleontológico.

3.4. Metodología de Estudio de Microfósiles

3.4.1. Preparación y Tratamiento de Muestras

De acuerdo con las observaciones y descripciones de las columnas estratigráficas de los cuatro testigos de perforación se seleccionaron las muestras con potencial microfósilífero para su tratamiento en el laboratorio. Del testigo de mayor profundidad (P-04) se recolectaron catorce muestras, y del P-15 cinco muestras. Así mismo, se tomaron dos muestras del sondeo PVS-4 y tres muestras del PVS-5. El procedimiento de separación de microfósiles se realizó en el Laboratorio de Sedimentología y Logueo Petrográfico de la Escuela Politécnica Nacional.

En los puntos de los testigos seleccionados para muestreo, se recogieron entre 30 g y 40 g de muestra. La mitad de la muestra se reservó y la otra mitad (entre 15g y 20g) se trató en el laboratorio. La metodología para la separación de microfósiles se escogió considerando el tipo de microfósiles a estudiar (foraminíferos, carbonatados), y los métodos descritos por: Ordoñez et al. (2006) y la Guía de Laboratorio de Sedimentología y Logueo Petrográfico de la Escuela Politécnica Nacional.

Preparación de las muestras (Modificado de Ordoñez et al, 2006):

1. Colocar la muestra de la roca (20 gr aprox.) en un vaso de cristal y colocar 100 ml de agua oxigenada (H_2O_2) al 15% durante un día (elimina materia orgánica)
2. Lavar la muestra con agua destilada y secarla al ambiente o en el horno con una temperatura no mayor a 40°C.
3. Colocar 40ml de la solución dispersante de arcillas (composición: 36g de Hexametáfosfato sódico y 8g de carbonato sódico) y calentar en una estufa por 12 minutos (Fig. 3.1.a), sin que supere 98° C de temperatura, dejar enfriar para tamizar.

Tamizado

1. Precalentar el horno a 40° C de temperatura.
2. Colocar la base de la torre de tamices y sobre ella los tamices en orden ascendente: 38 μ m, 45 μ m, 150 μ m, 180 μ m, 212 μ m, 425 μ m y 1mm.
3. Verter la mezcla que contiene la muestra previamente tratada con el procedimiento descrito anteriormente sobre la torre formada por los tamices. (Fig. 3.2, b)

4. Usar una piseta o frasco lavador para verter agua destilada sobre el tamiz de forma uniforme (Fig. 3.2, c) permitiendo que las partículas más finas atraviesen el tamiz hasta que solo permanezcan las partículas de mayor tamaño a la malla del tamiz.
5. Recoger la muestra restante sobre el tamiz en un recipiente previamente etiquetado con el número de muestra y el valor de gradación del tamiz. (Fig. 3.2, d)
6. Introducir la muestra en el horno y dejar que se seque a una temperatura no mayor a 40°C.
7. Repetir el procedimiento a partir del numeral cuatro para el siguiente tamiz, hasta terminar con el tamiz de menor gradación y la fracción fina que permanece en la base.
8. Cuando las muestras se hayan secado se recogen en fundas herméticas individuales con su respectiva etiqueta.



Figura 3.2. Preparación y tratamiento de muestras para el estudio de fósiles.

a) Muestra con dispersante de arcillas sobre la estufa por 12 minutos. b) La mezcla se vierte sobre la torre de tamices. c) Piseta o frasco lavador agrega agua en el tamiz para que las partículas de menor gradación atraviesen el tamiz. d) Muestra recolectada en un recipiente previamente etiquetado.

Las fracciones tamizadas se estudian para describir su contenido fósil. En total se obtuvieron 135 fracciones con tamaños mayores a 38 y 45 μm para ser analizadas. Las fracciones resultantes en función de su contenido de microfósiles se clasificaron en grupos: foraminíferos, fósiles no identificables, espículas silíceas, fragmentos fósiles y fragmentos de

conchas (aproximadamente 1080 ejemplares separados y agrupados). Las separaciones y agrupaciones realizadas suponen un aporte para la colección de microfósiles del Museo Petrográfico del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional.

3.4.2. Estudio de Microfósiles

La observación y separación de las 135 fracciones en total de microfósiles se realizó bajo la lupa binocular (Fig. 3.3); que corresponden a los tamices con gradaciones de 150 μm , 180 μm , 212 μm , 425 μm y 1mm de las 27 muestras provenientes de los testigos de perforación y de los afloramientos. Los microfósiles encontrados en las fracciones estudiadas fueron contabilizados y separados en pequeños envases de acuerdo a su naturaleza (moluscos, restos de espículas, foraminíferos, fósiles no identificables y fragmentos fósiles).

La separación de microfósiles se realizó mediante el uso de un pincel fino levemente humedecido con agua destilada para que por tensión superficial los microfósiles se adhieran a una resina de la base de envases acrílicos. Los envases fueron etiquetados con el nombre de la muestra, gradación y formas representativas identificadas mediante la observación.



Figura 3.3. Lupa binocular para el estudio de foraminíferos

La identificación de los microfósiles se realizó considerando las características morfológicas, y se diferenciaron: foraminíferos, fósiles no identificables, fragmentos de conchas, fragmentos fósiles y espículas silíceas.

La clasificación de Foraminíferos en los Subórdenes: Miliolina, Textulariina y Rotaliina se realizó de acuerdo con las características de las morfologías de las conchas de Haynes (1981). La identificación en subórdenes permitió representarlos en el Diagrama Ternario de Murray (1991) para mejorar la interpretación de los paleoambientes de las muestras.

En las 135 fracciones, se contabilizaron y se separaron hasta 1080 restos de fósiles, 670 ejemplares de foraminíferos. Del total de muestras tomadas, 4 resultaron estériles, sin restos fósiles, no identificables o con muy pocos restos para ser consideradas en la interpretación (3 muestras).

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Litología y Estratigrafía

El logueo de los testigos de perforación incluye descripciones litológicas, de las estructuras sedimentarias y el contenido fósil en visu de los testigos de perforación mediante el levantamiento de columnas estratigráficas. Para representar las características sedimentarias mencionadas anteriormente se usa la simbología que se describe en la Figura 4.1.

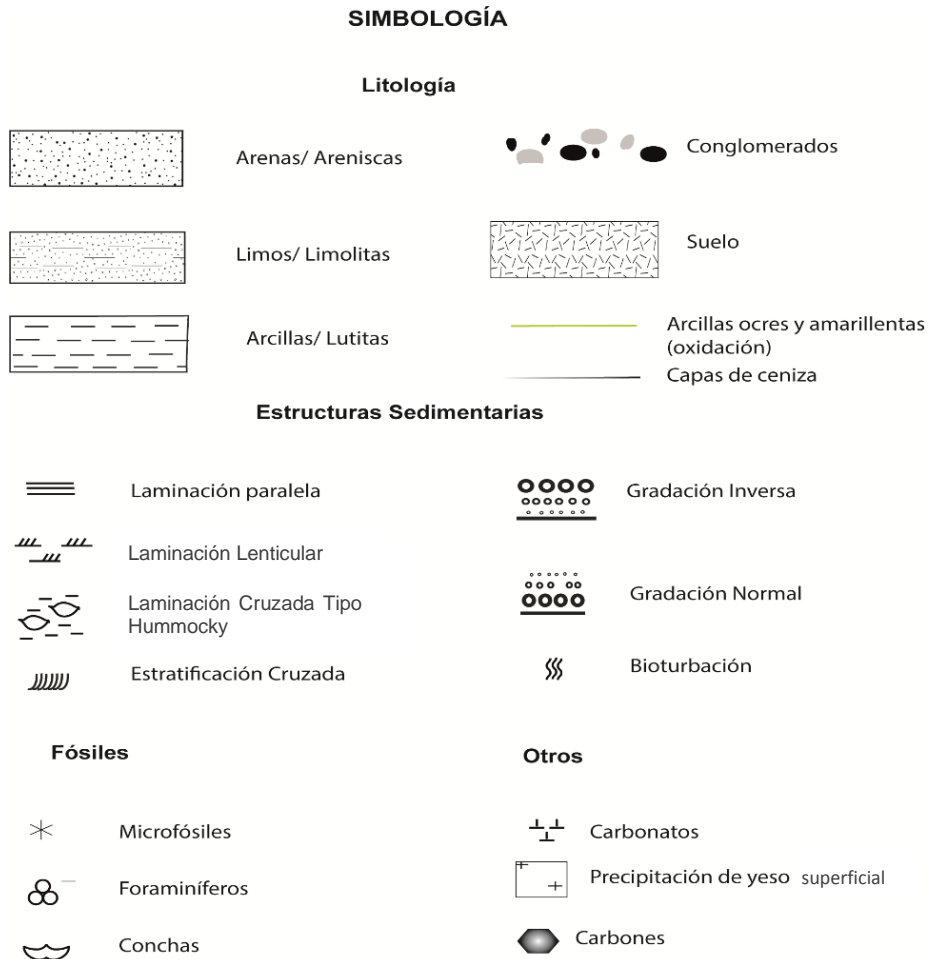


Figura 4.1. Simbología usada en las columnas estratigráficas de los testigos de perforación. Modificado de Sedstructure, University of Texas

Se ha utilizado la metodología de siglas de Miall (1978; 1985; 1996) para describir los depósitos de las diferentes unidades. Este método identifica las litofacies (caracterizadas por su granulometría promedio y sus estructuras sedimentarias) en el logueo de cada uno de los cuatro testigos de perforación mediante siglas y números para diferenciarlas entre sí. Las litofacies identificadas en los testigos se describen a continuación.

4.1.1. Columna estratigráfica del Testigo de Perforación P-04

El testigo de perforación P-04 fue realizado a las afueras de la ciudad de Portoviejo, es la perforación de mayor profundidad (160m). La litología de 160m hasta 64m corresponde a limolitas y lutitas con que en la base presentan intercalaciones de arenas, hacia el centro presentan laminación paralela, lenticular y bioturbación, al igual que en el techo. La coloración varía entre gris, marrón grisáceo, gris oscuro y negro (Fig. 4.2). A 62,5 metros de profundidad inicia la transición de la litología a conglomerados con matriz de arenas gruesas y gravas, seguidas de limos y arenas de color marrón claro y crema con gradaciones y en algunas zonas tienen aspecto caótico (Fig. 4.3).

La columna estratigráfica del testigo de perforación P-04 tiene una escala de 1cm que equivale a 3,5m. A continuación, se describen las características sedimentológicas y contenido fósil de las litofacies observadas, de base a techo.

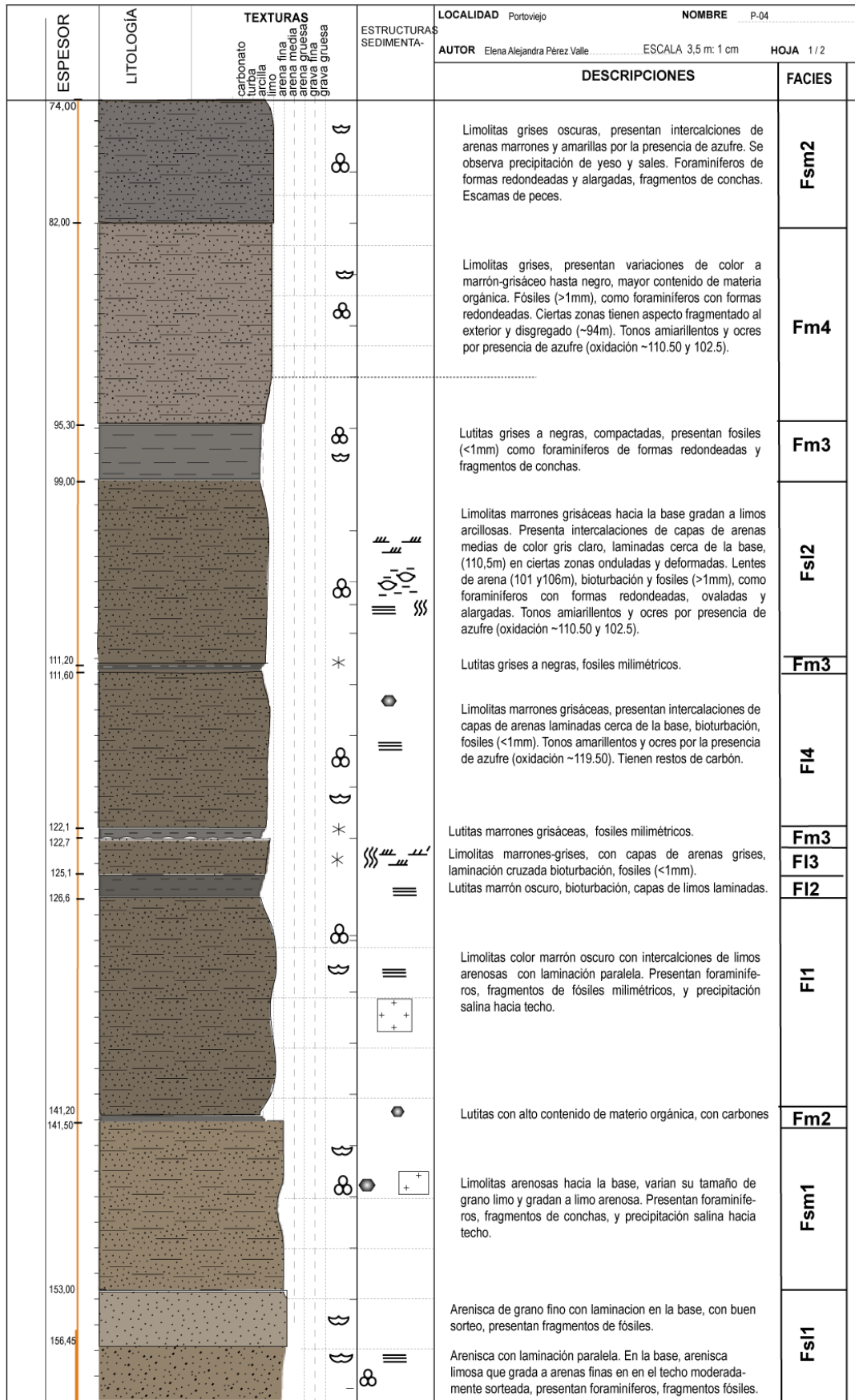


Figura 4.2. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-04, desde 74 m hasta 160 m de profundidad.

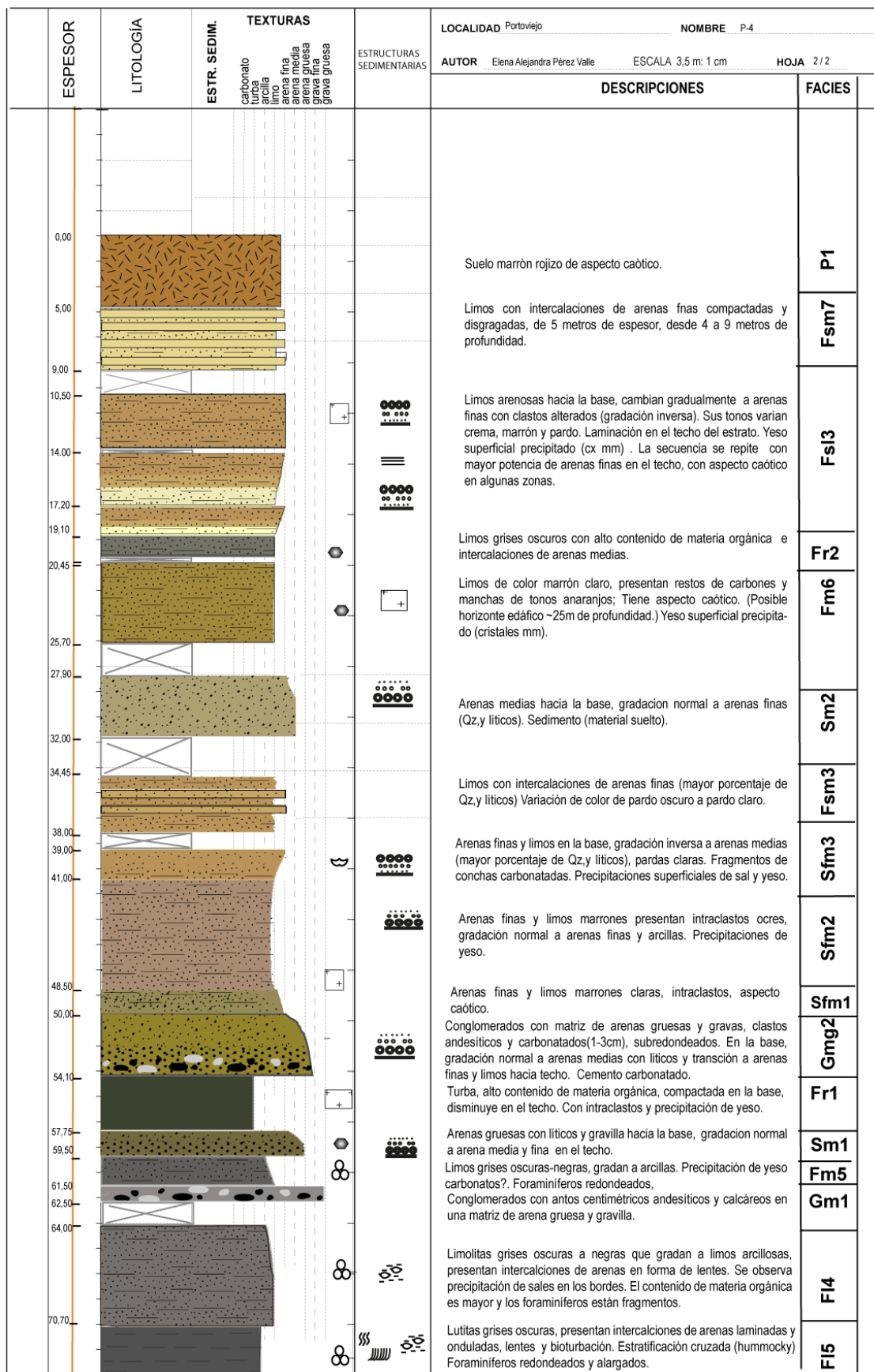


Figura 4.3. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-04, desde la superficie hasta 74m de profundidad.

Litofacie Fsl1

Areniscas limosas marrón grisáceo con laminación paralela en la base, que cambian a arenas finas con mejor sorteo hacia techo, con microfósiles como foraminíferos y otros fragmentos fósiles.

Litofacie Fsm1

Limolitas arenosas marrón grisáceo en la base, que cambian a limolitas y gradan a limolitas arenosas en el techo, con fósiles milimétricos no identificables y precipitación salina superficial hacia techo.

Litofacie Fm2

Lutitas negras con alto contenido de materia orgánica y carbones.

Litofacie FI1

Limolitas marrón oscuro con intercalaciones de limolitas arenosas con laminación paralela. Presentan foraminíferos, fragmentos de fósiles milimétricos, y precipitación salina superficial hacia techo.

Litofacie FI2

Lutitas marrón oscuro que tienen capas de limos laminadas, en ocasiones se observa bioturbación (Fig.4.4).



Figura 4.4. Limolitas del testigo P-04 de la Litofacie FI2 con bioturbación (a y b).

Litofacie FI3

Limolitas marrones a grises oscuras con intercalaciones de arenas grises, laminación cruzada, bioturbación y fósiles milimétricos (Fig. 4.5a).

Litofacie Fm3

Lutitas marrón grisáceo a gris oscuro sobre superficies erosivas y fósiles de tamaño menor a 1 mm y fragmentos de conchas.

Litofacie FI4

Limolitas marrón grisáceo, presentan intercalaciones de arenas laminadas hacia la base, bioturbación (Fig. 4.5 b, c), con fósiles de tamaño menor a 1mm. Tiene capas finas de tamaño arcilla de tonos verdes amarillentos (azufre) y ocre hacia los bordes de la capa (Fig. 4.6b), además de restos de carbón milimétricos y centimétricos.



Figura 4.5. Muestras del testigo de perforación P-04 con estructuras sedimentarias.

Litofacie FI3: a) Limolitas con intercalaciones de arenas gris claro. **Litofacie FI4:** b) bioturbación. c) Limolitas con lentes de arena. **Litofacies Fsl2 d)** Limolita con lente de arena en el centro. **e)** Lente de arena en el interior del testigo de perforación y microfósiles redondeados.

Litofacie Fsl2

Limolitas marrón grisáceas con intercalaciones de arenas medias gris claro hacia la base, laminadas y onduladas en ciertas partes, luego gradan a limos arcillosas. Se observan lentes de arena, bioturbación y fósiles de tamaño menor a 1mm, como foraminíferos con formas redondeadas, ovaladas y alargadas (Fig. 4.5 d, e). Además de arcillas verdes amarillentas y ocre en los bordes por presencia de azufre y oxidación.

Litofacie Fm4

Limolitas grises, presentan variaciones de colores marrones, grises y negros por el incremento del contenido de materia orgánica. En ciertas zonas de la muestra del testigo su aspecto exterior es fragmentado y disgregado. Presentan fósiles de tamaño menor a 1mm, como foraminíferos con formas redondeadas. También presenta arcillas de tonos verdes amarillentos y ocre por la presencia de azufre.

Litofacie Fsm2

Limolitas gris oscuro que presentan intercalaciones de arenas marrones grisáceas y arcillas verde-amarillentas por la presencia de azufre (Fig. 4.6b). Se observa precipitación de yeso y sales en la superficie del testigo, fósiles como: foraminíferos de formas redondeadas y alargadas, fragmentos de conchas y escamas de peces.



Figura 4.6. Muestras del testigo de perforación P-04 con estructuras sedimentarias. **Litofacie Fsl2: a)** Limolitas con intercalaciones de arenas gris claro. **Litofacie Fsm2: b)** Limolitas con intercalaciones de arcillas verde-amarillentas por presencia de azufre.

Litofacie Fl5

Lutitas gris oscuro, presentan intercalaciones de arenas laminadas y onduladas, lentes de arena, laminación cruzada (hummocky) y bioturbación. Tienen microfósiles como foraminíferos redondeados y alargados.

Litofacie Gm1

Conglomerados con cantos de tamaño centimétrico de composición andesítica y calcárea dentro de una matriz de arena gruesa y gravilla que tienen un alto porcentaje de líticos, cuarzo y feldespato.

Litofacie Fm5

Limos grises oscuro con gradación a arcillas. Presentan precipitación de yeso y carbonatos en la superficie. Los microfósiles como foraminíferos con formas redondeadas.

Litofacie Sm1

Arenas gruesas con líticos y gravilla hacia la base, gradación normal a arena media y fina en el techo, de composición lítica, feldespática y cuarzo.

Litofacie Fr1

Turba, arcillas negras con alto contenido de materia orgánica bien compactada hacia la base que disminuye hacia el techo. Además de intraclastos y precipitación de yeso superficial.

Litofacie Gmg2

En la base, conglomerados con matriz de arenas gruesas y gravas marrones con clastos andesíticos y carbonatados centimétricos, redondeados y subredondeados, con cemento carbonatado. Gradación normal a arenas medias con líticos, transición a arenas finas y limos hacia techo.

Litofacie Sfm1

Arenas fina y limos marrón claro, con clastos de aspecto fragmentado y caótico.

Litofacie Sfm2

Arenas finas y limos de colores marrones claros con intraclastos ocre, a continuación gradación normal a arenas finas y arcillas pardas. Además, tienen precipitaciones de yeso en el exterior.

Litofacie Sfm3

Arenas finas y limos de tonos pardos en la base, gradación inversa a arenas medias (mayor porcentaje de cuarzo y líticos) de color pardo claro. Tienen fragmentos de conchas carbonatadas y precipitaciones salinas y de yeso.

Litofacie Fsm3

Limos con intercalaciones de arenas finas que tienen mayor porcentaje de cuarzo y líticos. Sus tonos varían de pardo oscuro a pardo claro.

Litofacie Sm2

Arenas medias de color beige hacia la base, seguidas de gradación normal a arenas finas con cuarzo y líticos.

Litofacie Fm6

Limos de color marrón claro, presentan restos de carbones y manchas de tonos anaranjados. En el centro de la capa su aspecto es caótico posible horizonte edáfico y precipitaciones de cristales milimétricos de yeso en la superficie de los testigos.

Litofacie Fr2

Limos grises oscuro con intercalaciones de arenas medias con alto contenido de materia orgánica y raíces.

Litofacie Fsl3

Hacia la base, limos arenosos que cambian gradualmente a arenas finas con gránulos alterados (gradación inversa). Sus tonos varían entre crema, marrón y pardo. Tiene laminación hacia el techo. Cristales de yeso milimétricos precipitado en el exterior de los testigos. La secuencia se repite con mayor potencia de arenas finas en el techo.

Fsm7

Limos con intercalaciones de arenas finas compactadas y disgregadas de color crema. Ciertas zonas presentan aspecto caótico

Litofacie P1: Suelo marrón rojizo de aspecto caótico.

4.1.2. Columna Estratigráfica del Testigo de Perforación P-15

El testigo de perforación P-15 fue realizado en Crucita (ver Fig. 1.1), Portoviejo y tiene una profundidad de 30 metros, sus dos litologías principales son: el relleno limo arenoso (9m) y el basamento sedimentario de limolitas y lutitas laminadas (21 m) (Fig. 4.7).

En la base, las limolitas de tonos gris claro tienen laminación horizontal con capas centimétricas de arcillas amarillentas y capas blancas de ceniza, presentan fósiles hacia el techo. En el medio del testigo, las limolitas de tonos gris azulado tienen fósiles en la base y presentan intercalaciones de lutitas. Hacia el techo, las limolitas gris-verdoso se caracterizan por laminación lenticular y horizontal.

El relleno cuaternario se caracteriza por tener en la base conglomerados con matriz de grava fina, arenas gruesas y medias de tonos grises y cremas, con cantos centimétricos, subredondeados a subangulosos, de composición andesítica y carbonatada. A continuación, los sedimentos del relleno son litofacies arenosas y limo-arenosas de 9 metros de espesor. La columna estratigráfica del testigo de perforación P-04 tiene una escala de 1cm que equivale a 2m.

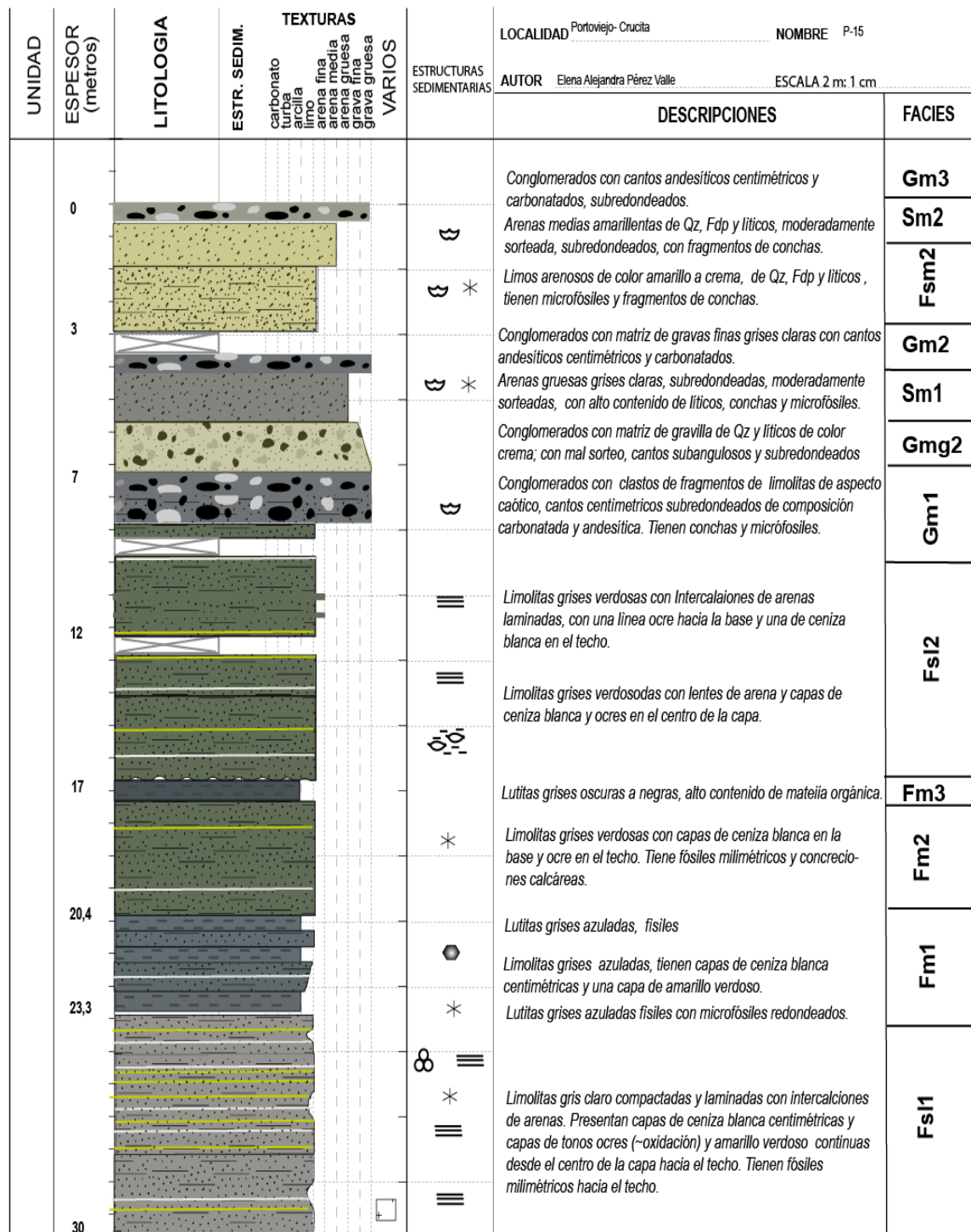


Figura 4.7. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-15.

Litofacie Fls1

Limolitas grises claro, compactadas y laminadas con intercalaciones de arenas. Tienen capas centimétricas de cenizas de tonos blancos, verde amarillento y ocre. Precipitaciones de yeso superficial en la base de la capa y fósiles milimétricos redondeados en el tope.

Litofacie Fm1

Intercalaciones de lutitas y limolitas masivas, de color gris azulado con pequeñas capas blancas de ceniza y verde amarillentas. Hacia la base tiene fósiles milimétricos de formas redondeadas.

Litofacie Fm2

Limolitas gris verdoso, masivas con una capa centimétrica de ceniza blanca hacia la base y una verde amarillento hacia el tope. Presentan microfósiles y concreciones calcáreas.

Litofacie Fm3

Lutitas gris oscuro a negro, parcialmente fósiles, con mayor contenido de materia orgánica.

Litofacie Fsl2

Limolitas grises verdosas con laminación lenticular hacia la base, seguidas de limolitas de la misma tonalidad con intercalaciones de arenas laminadas. Presentan capas centimétricas de ceniza blanca y otras verdes amarillentas en la muestra recolectada para el estudio de microfósiles resultó estéril.



Figura 4.8. Muestras del testigo de perforación P-15 con estructuras sedimentarias. **Litofacie Fsl1:** **a)** Limolitas con intercalaciones de arenas laminadas de tonos grises claros. **b)** Limolitas con intercalaciones capas centimétricas de arcillas ocre y amarillentas con bordes oxidados **c)** Limolitas con capas de ceniza centimétricas. **Litofacie Fm1:** **d)** Limolitas con intercalaciones de lutitas gris claro a gris azulado y capas de ceniza centimétricas.

Litofacie Gm1

Conglomerados matriz soportados grises con fragmentos de conchas. Hacia la base presenta fragmentos de limolitas de aspecto caótico, cantos centimétricos de composición andesítica y carbonatada, subredondeados a subangulosos, mal sorteo.

Litofacie Gmg2

Conglomerados, mal sorteados, con matriz granodecreciente de grava gruesa a grava fina (gravilla) de color marrón claro a crema, con cuarzo y líticos milimétricos, subredondeados. Los cantos son andesíticos centimétricos y subangulosos.

Litofacie Sm1

Arenas gruesas de color gris claro, subredondeadas, moderadamente sorteada, con líticos, microfósiles y conchas relativamente bien conservadas y algunas fragmentadas.

Litofacie Gm2

Conglomerados más consolidados con cantos grises subangulosos, andesíticos de tamaños centimétricos y matriz de arena gruesa y gravilla.

Litofacie Fsm2

Limos arenosos amarillentos con gránulos carbonatados subredondeados y presentan microfósiles y fragmentos de conchas.

Litofacie Sm2

Arenas medias y gruesas de color amarillo a beige, moderadamente sorteadas, subredondeadas, con fragmentos de conchas.

Litofacie Gm3

Conglomerados con cantos andesíticos y carbonatados de tamaños centimétricos, y grado de redondez: subangulosos.



Figura 4.9. Conglomerados de la litofacie Gmg2 del testigo de perforación P-15

4.1.3. Columna Estratigráfica el Testigo de Perforación PVS-04

La perforación PVS-04 se ubicó en la comunidad El Zapote (ver Fig. 1.1) y su profundidad es de 30 m. Tiene sedimentos de tamaño arena, limo y arcilla, de color marrón, gris y negro. Las diferentes litofacies se caracterizan por la variación en la proporción de arenas/arcillas (Fig. 4.13). De este modo, los nombres que caracterizan a las capas del testigo de perforación PVS-04 son, por ejemplo: arcillas limosas, limos arcillosos, arenas arcillosas, arenas limosas, etc. Además, presentan carbonato en la mayor parte de las capas y carbones en las litofacies del centro hasta la superficie.

Debido al modo de extracción mediante SPT, las descripciones se realizaron en campo y se pudo describir el grado de compactación/ humedad relativa con que se extrajo el material. La escala de la comuna estratigráfica es que 1m equivale a 0,8cm.

Litofacie Fsm1

Arcillas limosas con bajo porcentaje de arena fina, marrones claras, con micronódulos de carbonato, plásticas, relativamente compactas y con poca humedad (Fig. 4.10)

Litofacie Sm1

Arenas finas gris claro con cuarzo, feldespato y líticos negros tiene un bajo porcentaje de limos. Su consistencia es compacta, tiene bajo contenido de humedad, y tiene materia orgánica y carbonos.



Figura 4.10. Muestras de la perforación PVS-4. La imagen de la izquierda corresponde a la litofacie Fsm1 y a la derecha la litofacie Fsm2.

Litofacie Fsm2

Limos arenosos, con un bajo porcentaje de arcilla, tonos que varían de gris, marrón y marrón grisáceo relativamente plásticas, con poca humedad, carbonatos y precipitados de yeso superficiales (Fig. 4.10).

Litofacie Sfm1

Arenas finas marrones claras con mayor porcentaje de arcillas en la base, en el centro de la capa incrementa el porcentaje de limos respecto al de arcilla y hacia el tope mayor proporción de arenas finas versus los limos. De consistencia compactas, con poca humedad y carbonatos.

Litofacie Fsm3

Limos arenosos marrón claro, el tamaño de las arenas cambia de finas a medias, tienen líticas y hacia la base arcillas; su consistencia es relativamente compacta, húmeda y tiene carbonatos (Fig. 4.11).



Figura 4.11. Muestras de la perforación PVS-4. La imagen de la izquierda corresponde a la litofacie Fsm3 y a la derecha la litofacie Fm2.

Litofacie Fm1

Arcillas limosas marrones claras, con gránulos de carbonato, compacta y bajo contenido de humedad.

Litofacie Fsm4

Arcillas limosas con un bajo porcentaje de arena fina, sus tonalidades son gris claro y gris oscuro, compactas, plásticas y con bajo contenido de humedad; tienen carbonatos, carbones y materia orgánica.

Litofacie Fm2

Arcillas limosas, plásticas, bien compactas, húmedas, con carbones, materia orgánica y carbonatos. Sus colores varían entre gris oscuro y marrón grisáceo (Fig. 4.11).

Litofacie Fm3

Limos arcillosos, que en la base tiene color gris oscuro en el techo gris claro, de consistencia compacta, bajo contenido de humedad y con carbonatos.

Litofacie F11

Pequeño horizonte de limos arcillosos y arenosos, de color marrón claro abigarrado, con óxidos y carbonatos. Con capas intercaladas laminadas de tamaño centimétrica y blancas bien compactadas de tamaño limo sin carbonato (Fig. 4.12), incluido dentro de Fm3 debido a su escaso espesor, no aparece reflejado en las Facies de la Fig. 4.14.

Litofacie Sm2

Arenas finas de color gris claro con carbonatos, y bajo contenido de humedad.

Litofacie Fr1

Limos con bajo porcentaje de arcillas, compactadas y secas de color gris oscuro, con carbonatos, alta proporción de materia orgánica (Fig. 4.12).

Litofacie Fsm6

Arenas medias líticas con un bajo porcentaje de limos, de tonalidades marrón oscuro y presentan carbones.

Litofacie Fsm7

Limos arenosos grises oscuros que en la base tienen óxidos, en el centro tienen mayor proporción de arcillas y en el techo las arenas tienen menor porcentaje respecto a la proporción limos/arcillas, con materia orgánica. Su consistencia es compacta, tienen carbonatos, carbones y bajo contenido de humedad.



Figura 4.12. Muestras de la perforación PVS-4. a) Litofacie Fr1, capas laminadas. b) Litofacie Fr1. c) Litofacie Fm4.

Litofacie Fsm8

Limos arcillosos marrones oscuras que en la base tienen un porcentaje alto de arenas medias que gradan a finas líticas; en el centro el porcentaje de arenas disminuye y hacia el techo aumenta la proporción de arenas finas de tonos marrón grisáceo a gris oscuro. También tienen carbones, materia orgánica, su consistencia es plástica.

Litofacie Fm4

Limos arcillosos marrones claros, plásticos, con materia orgánica; en la base tienen aspecto abigarrado, cantos blandos y óxidos; en el techo aumenta el porcentaje de arcillas (Fig. 4.12).

Fr2

Arcillas limosas con bajo porcentaje de arenas gruesas abigarradas, grises oscuras, azuladas, menor plasticidad, con materia orgánica, raíces, compacta.

Litofacie P

Suelo edáfico compuesto por arcillas limosas con baja proporción de arena, de color gris oscuro a negro azulado, abigarrado de consistencia compacta; tienen alto contenido de materia orgánica. Hacia el techo, se incrementa la cantidad de arenas de mayor tamaño, raíces y tiene menor compactación y plasticidad.

UNIDAD	ESPESOR (metros)	LITOLOGIA	ESTR. SEDIM.	TEXTURAS	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	LOCALIDAD	NOMBRE
						Portoviejo, El Zapote	PVS-04
						AUTOR	ESCALA
						Elena Alejandra Pérez Valle	1m: 0,8cm
						DESCRIPCIONES	FACIES
	1					Relleno y suelo	P
	2						
	3					Limos+ arcillas+arenas gruesas, negras-grises, abigarradas, menor plasticidad, poco compacta, con raíces (suelo).	Fr2
	4					Arcillas limosa con bajo porcentaje de arenas, grises oscuras-azuladas, con materia orgánica, compacta, abigarrada (suelo).	
	5					Techo: Arcillas marrones claras, sueltas, plásticas, con materia orgánica. Base: Limos arcillosos con cantos blandos, marrones claras, abigarradas, plásticas, con óxidos y materia orgánica.	Fm4
	6					Techo: Limos arcillosa y arenas finas, marrones oscuras, plásticas, sueltas con carbonato. Base: Arenas finas, grises oscuras, sueltas, compactas, con materia orgánica.	Fsm8
	7					Techo: Limo arcillosa, menor proporción de arena, marrón oscuro, con carbonos y materia orgánica. Base: Arenas finas-medias, líticas, con bajo porcentaje limos, marrones oscuras, con materia orgánica	Fsm8
	8					Limo arcillosa y arena fina en menor proporción, gris oscuro, relativamente plástica, con carbonos y materia orgánica.	Fsm7
	9					Limo arcillosa y arena gris oscuro, compactadas, plástica, tiene carbonos y carbonatos.	Fsm7
	10					Limo arenosa, gris oscura, seca, bien compactadas, tiene carbonos, óxidos y carbonatos.	Fsm6
	11					Techo: Arenas medias líticas, baja proporción de limo, marrones oscuras, sueltas, carbonos. Base: Limos con bajo porcentaje de arcillas, grises oscuras, compactadas, secas, tienen carbonatos, materia orgánica (paleosuelo?).	Fr1
	12					Techo: Arena fina gris claro con carbonatos, seca o poco húmeda Base: Limo arcillosa, gris oscuro cambia a un tono claro, seca y con carbonato.	Sm2
	13					Limos arcillosas y arenosas, marrones claras, abigarradas con óxidos y carbonato. Hacia la base tiene capas laminadas blancas, de tamaño limo, centimétricas, compactadas.	Fm3
	14					Techo: Arcilla limosa gris oscura, compacta, plástica, húmeda, precipitados de carbonato. Base: Arcilla limosa marrón, grisácea, sin carbonato, bien compactadas, plástica, húmeda.	Fm2
	15					Arcillo limosa gris oscura, plástica, con algo de carbonato, carbonos y materia orgánica.	Fm2
	16					Muestra inalterada	
	17					Arcillo limosa+ bajo porcentaje de arena, gris claro y gris oscuro, plástica, con carbonos, carbonato y materia orgánica, bien compactada, poco húmeda a seca.	Fsm4
	18					Arcillo limosa marrón claro, plástica, relativamente compacta, con poca humedad y clastos de carbonato	Fm1
	19					Limos arenosas marrones claras, carbonatos, relativamente compacta, mayor humedad.	Fsm3
	20					Limos arenosas marrones claras, finas a medias y líticas con menor proporción de arcillas, carbonatos, relativamente compacta, húmeda.	Fsm3
	21					Techo: Arenas finas carbonatadas, con limos, marrones claras, compactas, poca humedad. Base: Limos arenosas con menor porcentaje de arcillas, grises a marrones y carbonatos	
	22					Techo: Limo areno-arcillosa marrón grisácea, compacta, con carbonatados, poco húmeda Base: Arenas finas marrones claras, poco limo, compactas, con carbonatados, poco húmeda	Sfm1
	23					Al techo: Limos arcillosos con menor proporción de arena, marrones grisáceas, plástica, compacta, con puntos blancos carbonatados, poco húmeda. A la base, arenas finas arcillosas, marrones claras, compactas, poco húmeda, carbonatos.	Sfm1
	24					Arenas limosas carbonatadas, marrones claras, compactas, con carbonatos, poco húmeda.	Sfm1
	25					Limos arenosas, compactas, grises a marrones, con carbonatados, poco húmeda, relativamente plástica.	
	26					Limos arenosas (tamaño fino), con algo de arcilla, de color marrón claro, con precipitados de yeso y carbonatados.	Fsm2
	27					Limos arenosas (tamaño fino), con algo de arcilla, de color gris en la base y marrón claro hacia el techo, con carbonatados.	Fsm2
	28					Muestra no recuperada	
	29					Arenas finas grises claras con Qz, Fd, líticas negras y materia orgánica, carbonos, poco limo, compacta, seca (poco húmeda).	Sm1
	30					Arcillas limosas y arenas finas grises claras, compactas, húmeda, sin carbonato.	Fsm1

Figura 4.13. Columna estratigráfica del testigo de perforación PVS-04

4.1.4. Columna Estratigráfica del Testigo de Perforación PVS-05

El testigo de perforación PVS-05 está ubicado en el sector de San Silvestre (ver Fig. 1.1), próximo a la desembocadura de río y su profundidad es de 11 m. Se caracteriza por presentar sedimentos de tamaño arena, limo y arcilla, de color marrón, gris y negro; se observan fragmentos de conchas en las litofacies de la base. Además, tienen carbones en la mayor parte de las capas y carbonatos en algunas de ellas (Fig. 4.14).

Debido al modo de extracción mediante SPT, las descripciones se realizaron en campo y se pudo describir el grado de compactación/ humedad relativa con que se extrajo el material. La escala de la columna estratigráfica es 1m: 1cm.

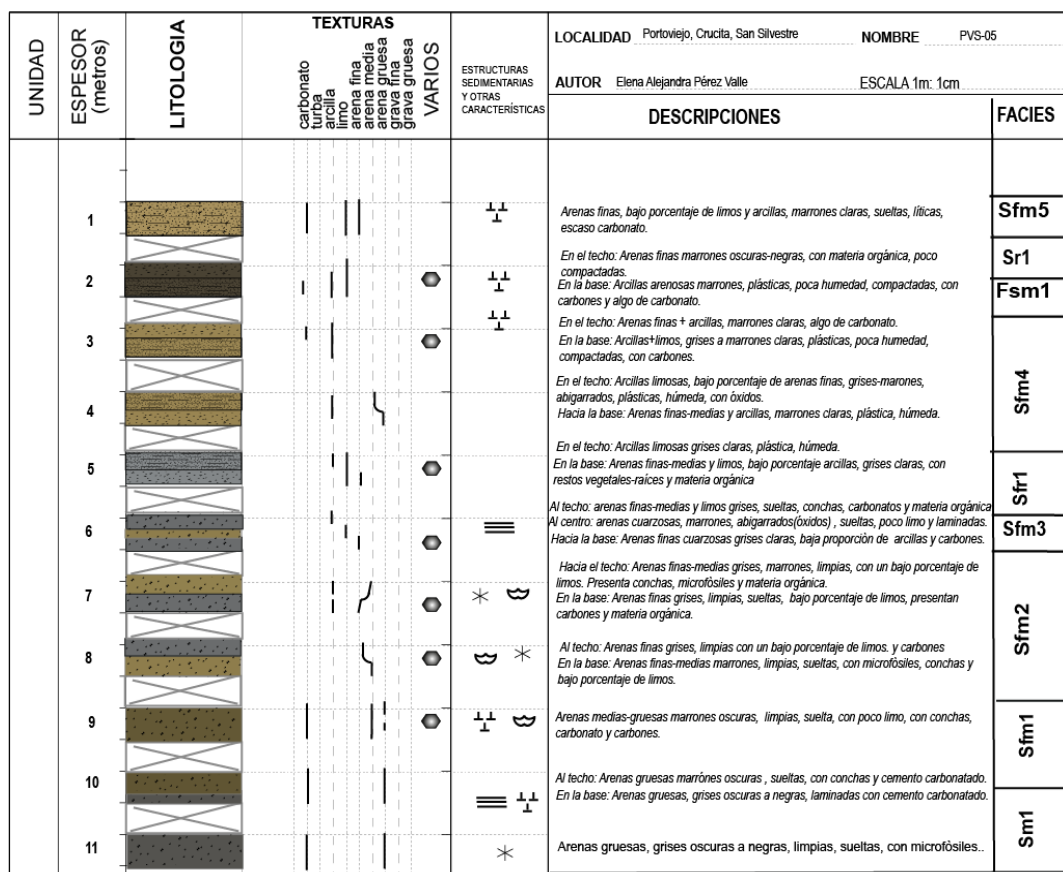


Figura 4.14. Columna estratigráfica del testigo de perforación PVS-05.

Litofacie Sm1

Arenas gruesas masivas de color gris oscuro a negro, con cemento carbonatado, y laminación hacia el tope, con microfósiles.

Litofacie Sfm1

Arenas medias a gruesas con un porcentaje de limo, su tonalidad es marrón oscuro, disgregadas, con cemento carbonato, microfósiles, fragmentos de conchas y carbones (Fig. 4.15).

Litofacie Sfm2

Arenas de tonos marrones que varían entre el tamaño fino y medio, limpias, disgregadas con un porcentaje bajo de limos, sus tonos están intercalados entre grises a marrones grisáceos. Presentan conchas, carbonatos, materia orgánica y en el techo carbones (Fig. 4.15).



Figura 4.15. Muestras de la perforación PVS-5. La imagen de la izquierda corresponde a la litofacie Sfm1 y a la derecha la litofacie Sfm2.

Litofacie Sfm3

Arenas finas cuarzosas, limpias, disgregadas, hacia la base tienen tonalidades grises claras y bajo porcentaje de arcillas con carbones y hacia el tope son marrones grisáceos abigarrados (presencia de óxidos) que se encuentran laminadas y con un porcentaje bajo de limos.



Figura 4.16. Litofacie Sfm3 Intercalaciones de arenas grises y marrones.

Litofacie Sfr1

Arenas finas a medias de colores grises claros, con un porcentaje bajo de limos en la base, no tienen carbonatos, con restos vegetales (raíces) y materia orgánica.

Litofacie Sfm4

Arenas finas arcillosas marrones claras con intercalaciones de limos de consistencia plástica, bajo contenido de humedad óxidos en la base.

Litofacie Fsm1

Arcillas arenosas con tonalidades marrones claras, en la base las arenas son de tamaños finos y medios con limos marrones grisáceos abigarrados, su consistencia es plástica y húmeda; y hacia el techo el tamaño de las arenas es fino y tienen carbones.

Litofacie Sr1

Arenas finas con materia orgánica, de color marrón oscuro a negro, disgregadas, poco compactadas, no tienen carbonatos.

Litofacie Sfm5

Arenas finas con un bajo porcentaje de limo y arcillas, marrón claro, disgregada, líticas y con algo de carbonato.

4.2. Paleontología

4.2.1. Micropaleontología y aspectos tafonómicos

Para el estudio general de micropaleontología se seleccionaron 24 muestras considerando las unidades litológicas descritas en los 4 testigos de perforación y el contenido fósil en visu de las diferentes litofacies de las columnas estratigráficas descritas en el apartado 4.1. Cada muestra seleccionada se subdividió en 5 por medio del proceso de tamizado dando un total de 120 fracciones que bajo la lupa binocular se observaron y separaron los diferentes grupos de microfósiles descritos más adelante. Del total de muestras tamizadas 4 resultaron estériles o sin restos fósiles.

Para cada submuestra se contabilizó el total de microfósiles y los porcentajes respecto al total de la muestra, considerando los siguientes grupos: fósiles no identificables, espículas silíceas, fragmentos fósiles, fragmentos de conchas y foraminíferos. A continuación, se describe las características consideradas para la clasificación de los grupos.

- Fósiles no identificables: se incluyeron en este grupo fósiles que no presentaron las características de sus conchas consideradas para la clasificación de foraminíferos y que pueden pertenecer a otros grupos de microfósiles, cuya identificación no fue posible por el alcance de este trabajo.
- Espículas silíceas: es una categoría que incluye las unidades alargadas en forma de varillas o radiales de sílice, transparentes o blanquecinas, asociadas principalmente a restos de esponjas silíceas.
- Fragmentos fósiles: se incluyeron en este grupo los microfósiles que no se encuentran bien conservados o que por su fraccionamiento no se diferencian las características de sus conchas suficientemente para clasificarlos.
- Fragmentos de conchas se conforma de fracciones de bivalvos y gasterópodos de diferentes tonos. Los fragmentos de las valvas de los bivalvos se diferencian por sus líneas de crecimiento.
- La clasificación de los foraminíferos en subórdenes se realizó considerando las características de las conchas como su arquitectura y disposición de las cámaras, sus aberturas, ornamentación (ver apartado 2.5). Además, se describió el tamaño de sus diámetros y su coloración.

Por lo tanto, para cada fracción se separaron los restos correspondientes a cada uno de los grupos anteriores, en función del contenido presente en la muestra (1080 separaciones y agrupaciones realizadas). Los resultados y porcentajes obtenidos se presentan a continuación. Las fracciones separadas suponen un aporte para la colección de microfósiles del Museo Petrográfico del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional.

4.2.1.1. Testigo de Perforación P-04

La perforación del testigo P-04 corresponde al de mayor profundidad (160m) por consiguiente se seleccionaron 14 muestras a diferentes profundidades (Tabla 2). Del total de muestras tamizadas en este testigo 3 resultaron estériles o sin restos fósiles (Figs. 4.19 y 4.20).

Tabla 2. Identificación de las muestras del testigo P-04.

N.º muestra	P4-1	P4-2	P4-3	P4-4	P4-5	P4-6	P4-7	P4-8	P4-9	P4-10	P4-11	P4-12	P4-13	P4-14
Profundidad (m)	158	155	141,3	117	89	74	67	58,5	52	45	36	30	18	7

En el testigo de perforación P-04, los microfósiles se encuentran en todas las litofacies del basamento sedimentario, principalmente en las limolitas y lutitas con intercalaciones de arenas, y en su mayoría son foraminíferos bentónicos (Fig.4.17). Las conchas de los microfósiles se encuentran relativamente bien conservadas, su coloración es blanca a crema y sus tamaños tienen un diámetro desde 150µm (medida del menor tamiz en que se identificaron microfósiles) hasta 3mm (Figs. 4.18; 4.19).

Los foraminíferos bentónicos se caracterizan por sus conchas con enrollamiento estrecho tienen bordes aquillados, superficies lisas y pulidas, aberturas radiales. Las conchas alargadas tienen cámaras numerosas de formas triseriales cuya pared está ornamentada con costillas longitudinales y su abertura tiene un tubo corto. Los caparazones elongados de formas biseriales tienen cámaras infladas, suturas deprimidas, ornamentación de costillas longitudinales y abertura en la última cámara.

Las conchas uniseriales tienen numerosas cámaras que pueden ser: tubulares divididas por suturas perpendiculares a la elongación o delgadas con mayor grosor en la parte final del caparazón y suturas claras.

Los caparazones planiespirales y trocoespirales tienen superficies porosas y lisas. Otras morfologías de miliólidos con aberturas simples se diferencian además por su apariencia aporcelanada.

También se identificaron foraminíferos planctónicos en menor porcentaje (Fig. 4.17), los cuales tienen conchas de formas esféricas de superficie lisa, porosa o con pequeñas espinas y conchas con cámaras globosas, suturas deprimidas, abertura umbilical grande y semicircular.

El relleno cuaternario conformado por limos y arenas de tonalidades marrones, cremas y grises no presenta fósiles o su número no es representativo (Figs. 4.18, 4.19); a excepción de la muestra P4-8, que se encuentra a la base a aproximadamente 61 metros de profundidad. La muestra se encuentra en la litofacie denominada Sm1, que está formada por arenas gruesas masivas que gradan a arcillas grises.

Se contabilizaron 31 microfósiles, de los cuales el mayor porcentaje corresponde a foraminíferos con conchas de formas uniseriales con suturas paralelas a la elongación, biseriales y triseriales con ornamentación de costillas longitudinales, y con diferencia en las aberturas simples.

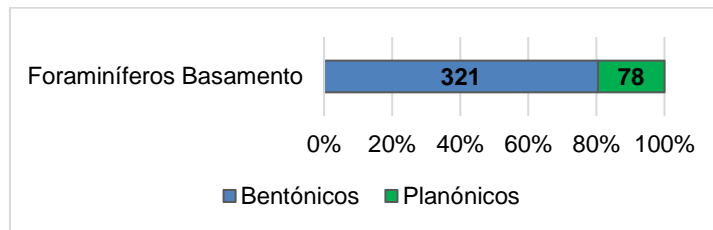


Figura 4.17. Foraminíferos contabilizados en el basamento sedimentario del P-04.

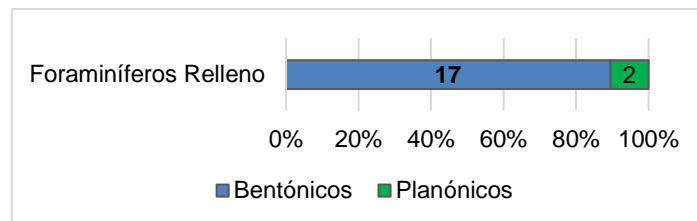


Figura 4.18. Foraminíferos contabilizados en el relleno sedimentario del P-04.

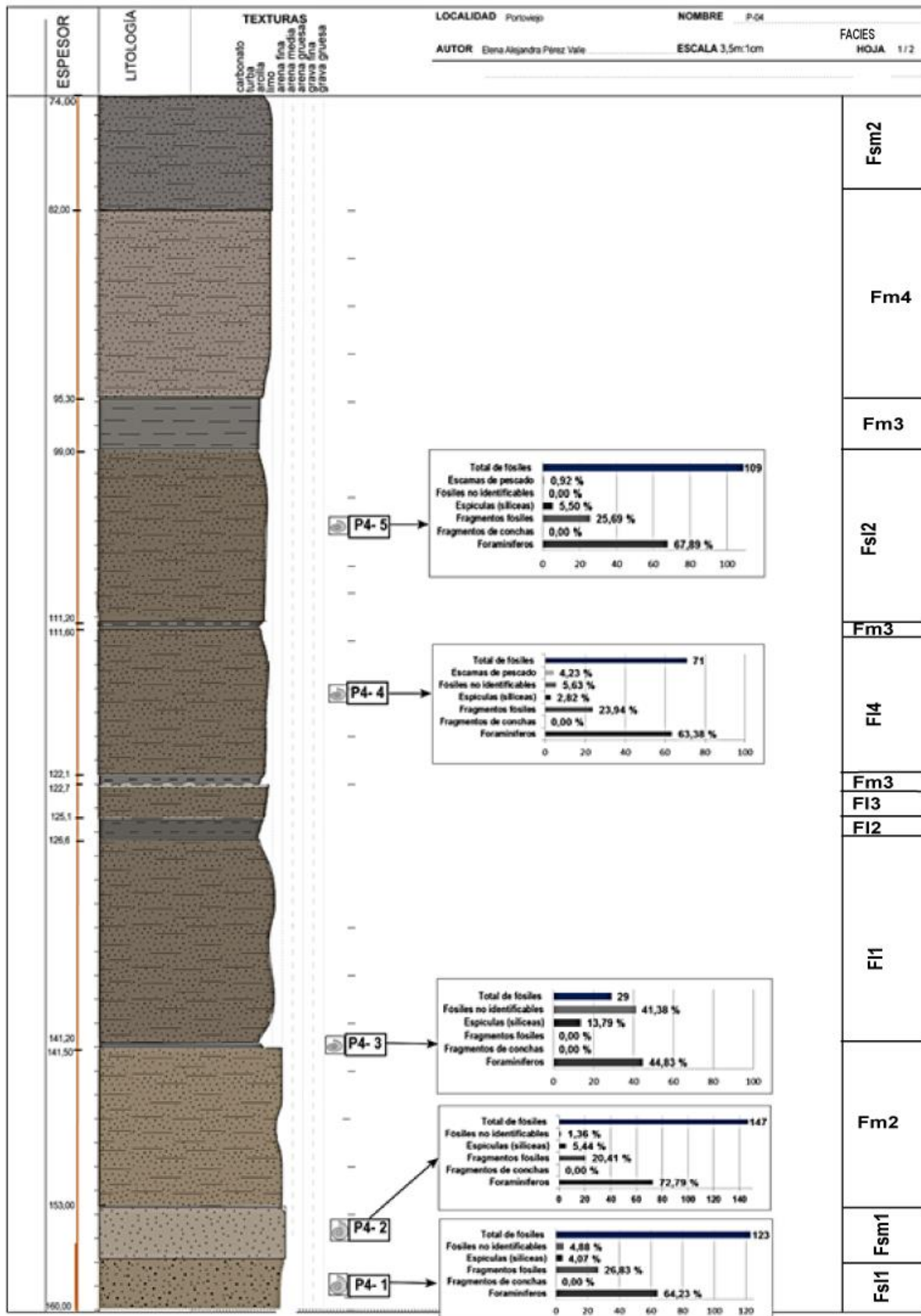


Figura 4.19. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-04, desde 74m hasta 160m de profundidad. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto

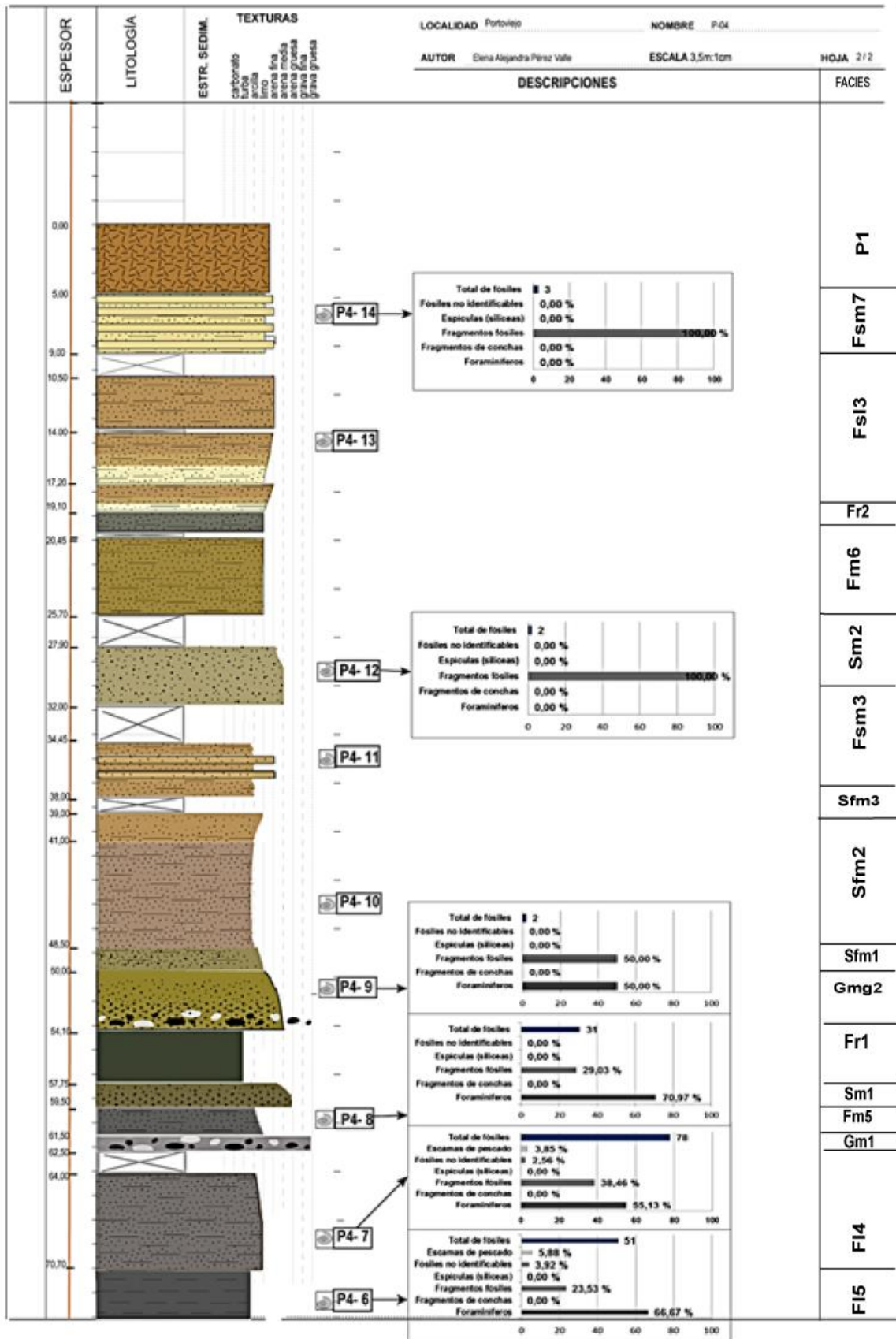


Figura 4.20. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-04, desde la superficie hasta 74m de profundidad. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto al total.

4.2.1.2. Testigo de Perforación P-15

En la perforación del testigo P-15 se seleccionaron 5 muestras a diferentes profundidades (Tabla 3), luego de considerar el contenido en visu descrito en las muestras durante el logueo. Del total de muestras tamizadas, la muestra P15-3 resultó estéril.

Tabla 3. Identificación de las muestras del testigo P-15.

N.º de muestra	P15 -1	P15 -2	P15 -3	P15- 4	P15 -5
Profundidad (m)	27,4	17,5	12,5	4,75	2

En el testigo de perforación P-15 los microfósiles aparecen en la mayoría de las litofacies estudiadas, encontrándose más ejemplares en el techo del relleno (Fig.4.21). Las conchas de los microfósiles se encuentran relativamente bien conservadas, su coloración es crema a beige y sus tamaños tienen un diámetro desde 150µm hasta 1mm.

En el basamento sedimentario, y en el relleno sedimentario la mayor cantidad de ejemplares de foraminíferos bentónicos que tienen caparazones elongados de formas biserials con cámaras infladas, suturas deprimidas, ornamentación de costillas longitudinales y aberturas en la última cámara. Además de un número significativo de foraminíferos con conchas alargadas que tienen cámaras numerosas de formas triserials cuya pared está ornamentada con costillas longitudinales y su abertura es un tubo corto.

En las muestras se observan escasas unidades de foraminíferos de conchas uniserials, que se caracterizan por sus numerosas cámaras que pueden ser: tubulares divididas por suturas perpendiculares a la elongación, o delgadas con mayor grosor en la parte final del caparazón y suturas claras. Las conchas con morfologías de miliólidos tienen su apariencia semejante a la porcelana con aberturas simples.

Se distinguieron algunos ejemplares de foraminíferos planctónicos (Figs. 4.22 y 4.23) de tamaños que no superan las 180 µm con formas esféricas de superficie lisa, porosa o con pequeñas espinas. De igual manera se encontró un reducido número de caparazones planiespirales y trocoespirales con superficies porosas o lisas, cámaras globosas, de suturas características y de abertura umbilical y semicircular.

El relleno cuaternario tiene el mayor porcentaje de fragmentos de conchas y los foraminíferos tienen el porcentaje más alto respecto al total. Adicionalmente de las características de la arquitectura y disposición de sus cámaras ya descritas, los foraminíferos que se encuentran solamente en el relleno tienen sus conchas con enrollamiento estrecho, sus bordes aquillados, de superficies lisas y pulidas y aberturas radiales.

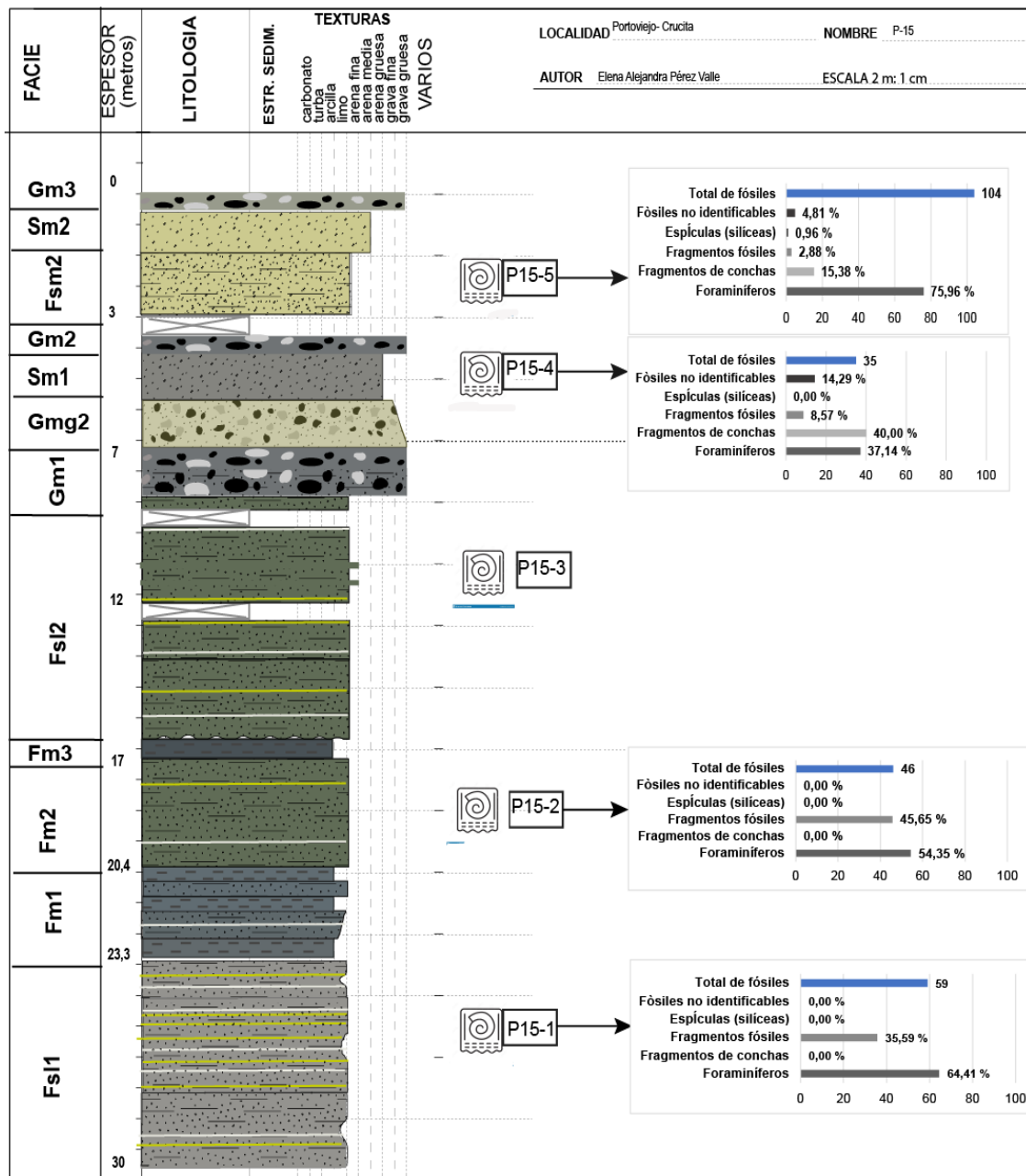


Figura 4.21. Columna estratigráfica del testigo de perforación P-15, de 30 metros de profundidad. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto al total.

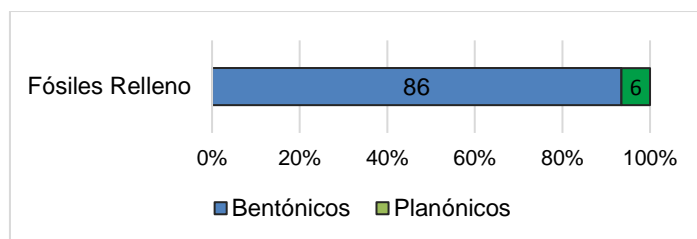


Figura 4.22. Foraminíferos contabilizados en el relleno sedimentario del P-15.

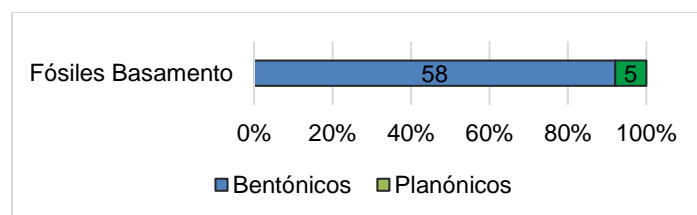


Figura 4.23. Foraminíferos contabilizados en el basamento sedimentario del P-15.

4.2.1.3. Testigo de Perforación PVS-04

En la perforación del testigo PVS-04 no se observaron fósiles en visu, sin embargo, se seleccionaron 2 muestras a profundidades diferentes (Tabla 3) para su tamizado y observación en el estereomicroscopio binocular.

Tabla 4. Identificación de las muestras del testigo PVS-04.

N.º de muestra	PV4 -1	PV4 -2
Profundidad (m)	10	24

Los microfósiles de las muestras se encuentran fragmentados, disgregados y en algunos casos sufrieron disolución, en consecuencia, no se los diferencia y fueron agrupados en la categoría de Fragmentos fósiles (Fig.4.24). El número total de restos encontrados es muy bajo respecto a las muestras en los otros testigos, aun siendo facies similares. Por lo tanto, no se puede descartar la influencia de procesos tafonómicos fosildiagnéticos en la preservación de restos fósiles en este testigo.

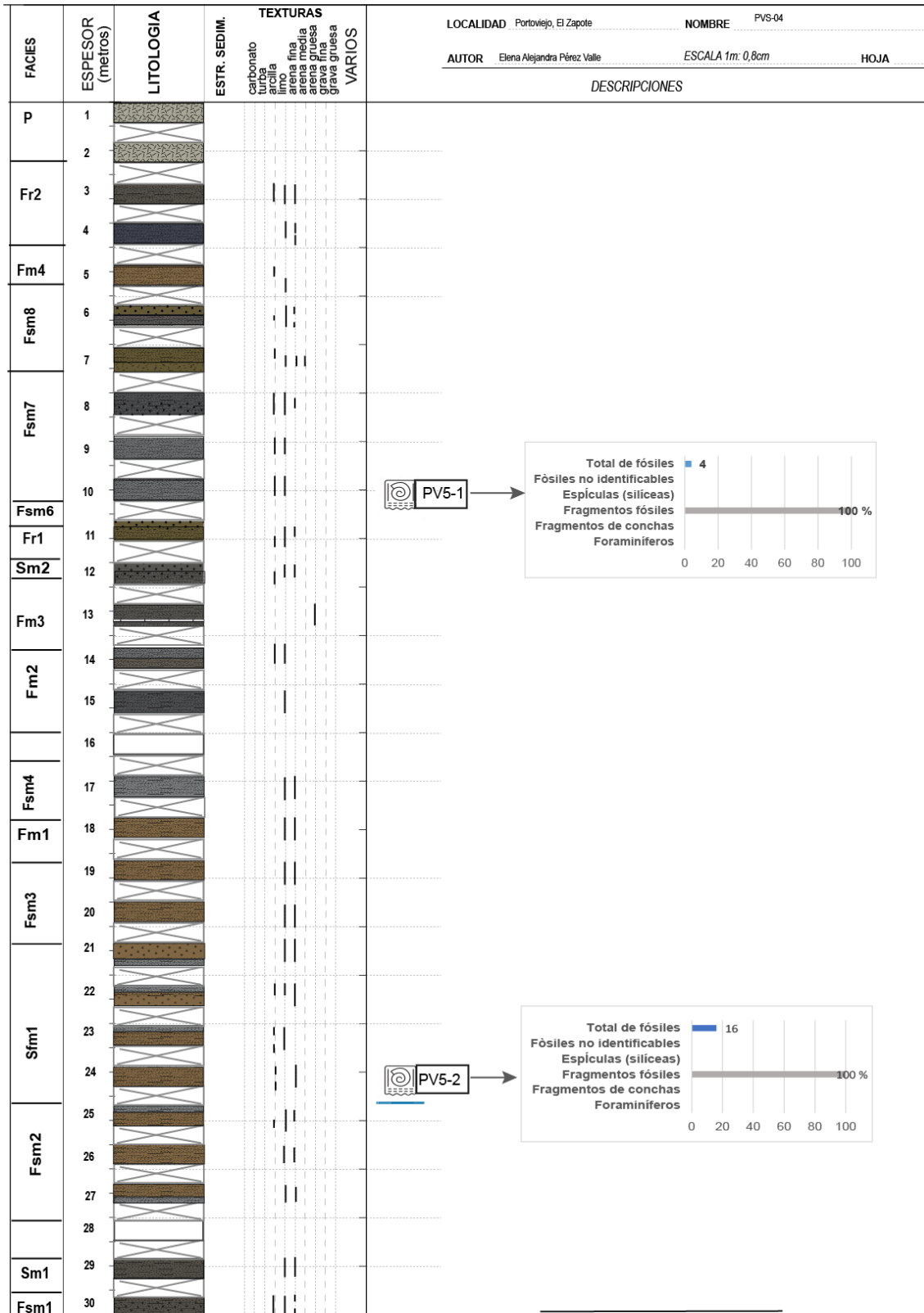


Figura 4.24. Columna estratigráfica del testigo de perforación PVS-04. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto al total.

4.2.1.4. Testigo de Perforación PVS-05

En la perforación del testigo PVS-05 no se observaron microfósiles en visu, sin embargo, se seleccionaron 3 muestras a diferentes profundidades (Tabla 5) para verificar mediante la separación y observación en el estereomicroscopio binocular.

Tabla 5. Identificación de las muestras del testigo PVS-05.

N.º de muestra	PV5 -1	PV5 -2	PV5 -3
Profundidad (m)	7	8	11

En el testigo de perforación PVS-05 se encontraron microfósiles en las tres muestras recolectadas y la mayor cantidad de ejemplares están localizados entre 7 y 8 metros de profundidad (Fig. 4.24). Las conchas de los microfósiles se encuentran relativamente bien conservadas, su coloración es blanca a crema y sus tamaños tienen un diámetro desde 150µm hasta 212 µm.

La mayor cantidad de ejemplares son foraminíferos bentónicos (Fig. 4.26), se caracterizan por sus conchas con enrollamiento trocoespiral y planoespirales, su abertura simple e interomarginal, con suturas hacia el centro. Otros ejemplares significativos son los foraminíferos cuyas conchas tienen enrollamiento estrecho con bordes aquillados, de superficies lisas y pulidas y aberturas radiales.

En menor número se observan las formas biserials y triserials con cámaras infladas numerosas, suturas deprimidas, ornamentación de costillas longitudinales y aberturas en la última cámara. Además de morfologías de miliólidos con aberturas simples, que destacan por su brillante superficie lisa y aporcelanada.

Se identificaron foraminíferos planctónicos en un número significativo respecto al total y al resto de testigos de perforación (Fig. 4.25). En este grupo, las tests se caracterizan por sus formas esféricas de superficie lisa, porosa o con pequeñas espinas. Los caparzones planiespirales y trocoespirales con superficies porosas o lisas, cámaras globosas, suturas características, abertura umbilical grande y semicircular.

Los fragmentos de conchas representan un cuarto del total en cada muestra, el cual es el mayor porcentaje presente de los cuatro testigos analizados (Fig. 4.24).

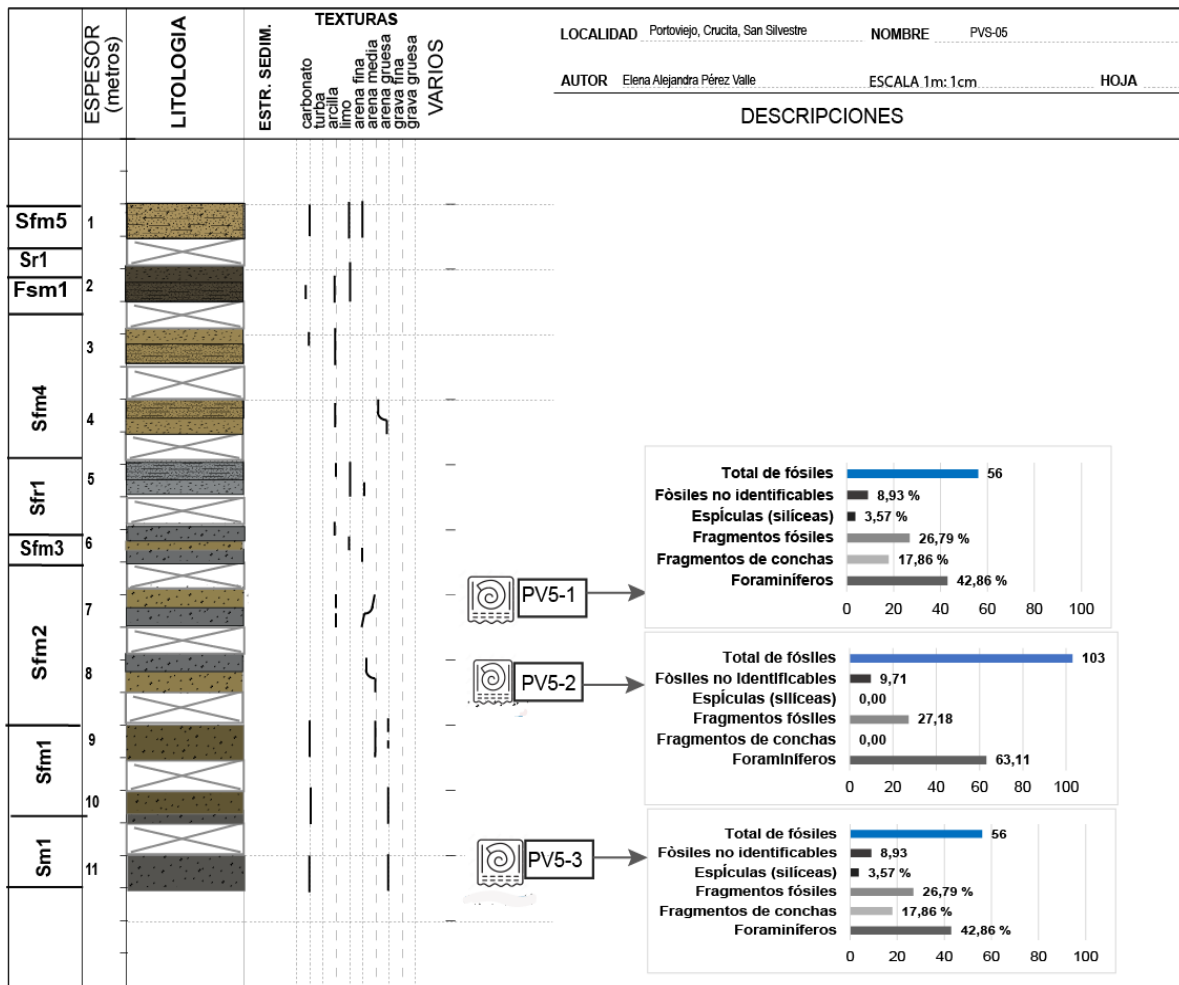


Figura 4.25. Columna estratigráfica del testigo de perforación PVS-05. Total de microfósiles por muestra y sus porcentajes respecto al total.

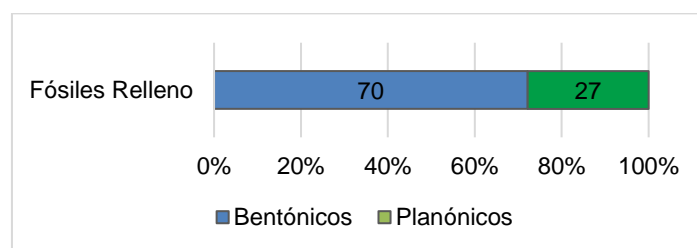


Figura 4.26. Foraminíferos contabilizados en el PVS-05.

CAPITULO V

5. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

5.1. Interpretación de Ambientes Sedimentarios en los Testigos de Perforación y Correlación

5.1.1. Interpretación de facies y contenido fosilífero

El principal objetivo de clasificar a los foraminíferos de acuerdo con la morfología y arquitectura de sus conchas en este estudio es tratar de analizar los cambios paleoambientales reflejados por las asociaciones de restos fósiles junto con las litofacies.

La clasificación de los foraminíferos considerando las características de la morfología y composición de sus cámaras permite representar los subórdenes en el Diagrama Ternario de Clasificación de Murray (1991). El diagrama ternario de los subórdenes Textulariina (Aglutinados), Rotalina (Hialinos) y Miliolina (Porcelanoides) (Fig. 5.1), los grupos de foraminíferos y las asociaciones de litofacies descritas en el apartado 4.1 son considerados para interpretar los paleoambientes de las muestras.

Los foraminíferos analizados corresponden principalmente a foraminíferos hialinos (Rotaliina), un porcentaje medio de porcelanoides (Miliolina), con muy poca presencia de foraminíferos aglutinados. Estas asociaciones son más típicas en las zonas de transición o plataformas internas que se caracteriza por faunas bentónicas de baja diversidad, sus conchas son pequeñas y no fuertemente ornamentadas (Haq & Boersma, 1998). De acuerdo con Láprida (1997), los sustratos limo-arcillosos contienen poblaciones numerosas de foraminíferos debido a su capacidad de retener grandes cantidades de nutrientes (materia orgánica y bacterias) en los espacios intersticiales. En este tipo de ambientes las asociaciones de foraminíferos están dominadas por especies de caparzones delicados y elongados.

De acuerdo con lo mencionado, los foraminíferos de las muestras del basamento sedimentario de los testigos de perforación P-04 y P-15 que provienen de litofacies Fsl y Fl reflejan facies de plataforma marina (Figs. 4.21, 4.22 y 4.23), en cambio las muestras de foraminíferos de litofacies Fm con mayor contenido de materia orgánica reflejan facies más similares a lagunas marinas (Fig. 5.1, formas de puntos).

Las muestras: M8 que se encuentra en la litofacies del relleno denominadas Fm5 del P-04 y M4 en la litofacie Sm1 del P-15, tienen un número parecido de microfósiles (Fig. 4.28) y su paleoambiente es similar a lagunas marinas normales (Fig. 5.1).

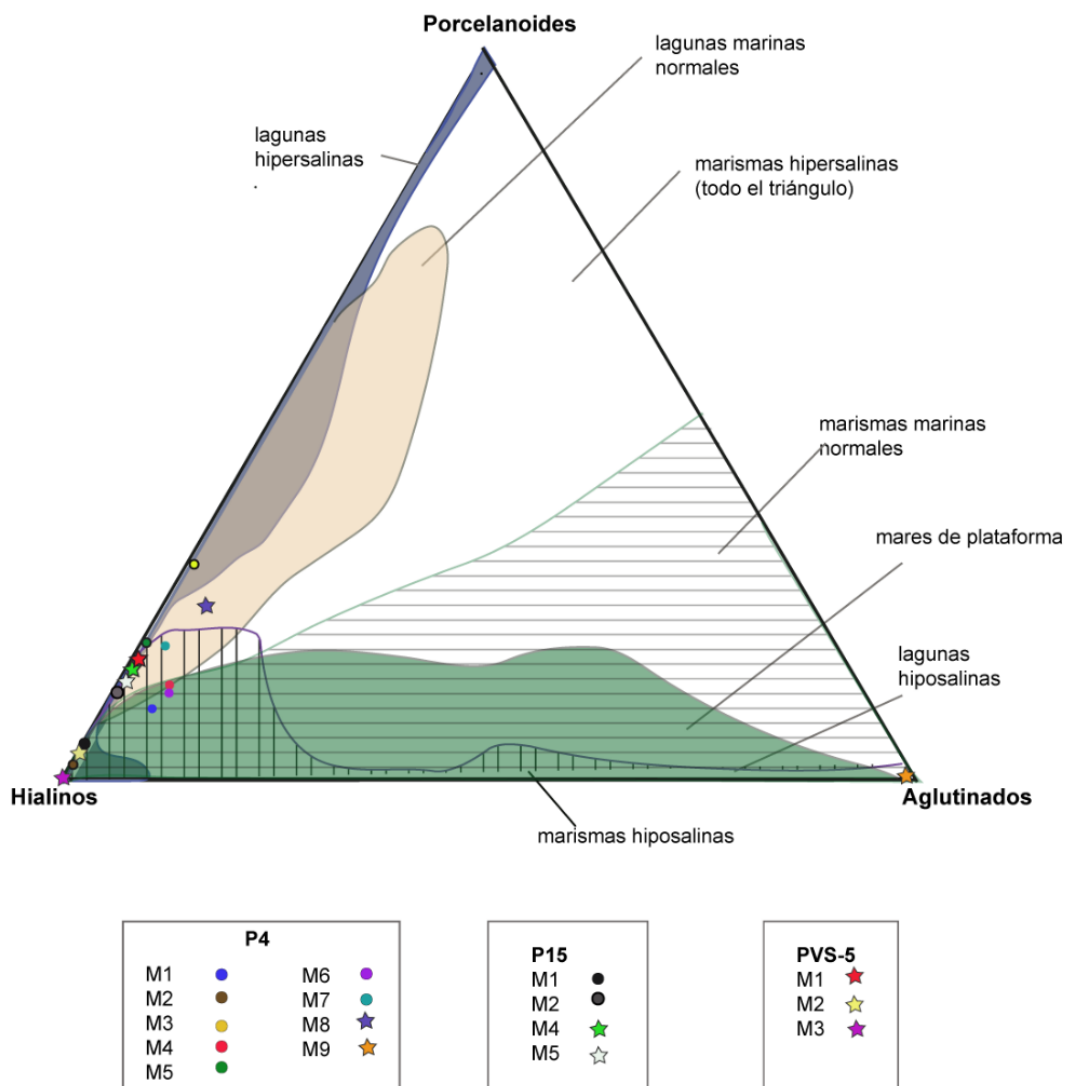


Figura 5.1. Diagrama ternario con las relaciones entre foraminíferos Hialinos, Aglutinados y Porcelanoides en los testigos de perforación analizados en este trabajo. Modificado de Murray (1991). Se usa las formas de puntos para diferenciar las muestras tomadas en el basamento sedimentario y las estrellas para las muestras del relleno cuaternario.

Los foraminíferos de las muestras del relleno de las litofacies Sm, Fsm o Sfm en los testigos P-15 y PVS-5, reflejan paleoambientes hiposalinos como marismas y lagunas marinas abiertas (Fig. 5.1, formas de estrellas). Salvo M9, del testigo P-04 en la litofacie Gmg2, que se ubica en el vértice del triángulo de Aglutinados pero que no se considera representativo porque el número de microfósiles reconocidos es de dos unidades (Fig. 4.26).

Por lo tanto, el contenido fosilífero de las muestras, junto con sus litofacies permite asociar los sedimentos del basamento sedimentario (presente en los testigos P-04 y P-15) a plataforma marina interna. Las unidades basales del relleno cuaternario con contenido fosilífero están asociadas a ambientes costeros de transición conformados principalmente por lagunas costeras y marismas. Los sedimentos del relleno cuaternario que no presentan restos fósiles marinos, hacia el tope de los testigos, se consideran asociados a ambientes con influencia fluvial.

5.1.2. Correlación y Evolución de Ambientes Sedimentarios

Las litofacies identificadas en los cuatro testigos de perforación se correlacionaron en dirección NNW-SSE desde la playa actual de Crucita hasta la ciudad de Portoviejo teniendo en cuenta la litología, las estructuras sedimentarias, la profundidad de las muestras de los pozos y el contenido fosilífero (Fig. 5.2). En la correlación se han diferenciado tres unidades correspondientes tres ambientes principales que son de base a techo: plataforma, estuario-playa (transicional) y fluvial de acuerdo con las asociaciones de litofacies y microfósiles.

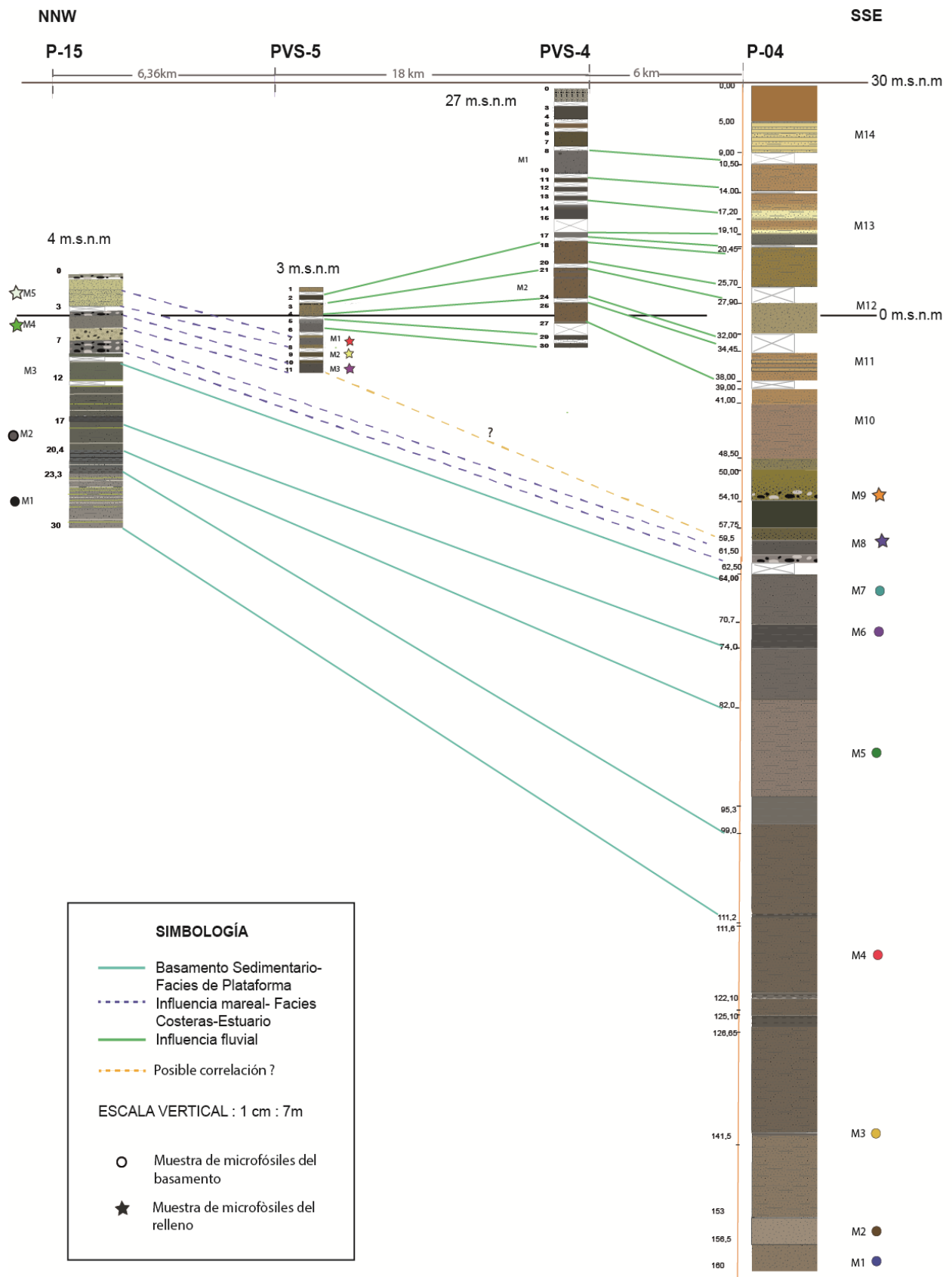


Figura 5.2. Correlación de los testigos de perforación en dirección NNW-SSE desde la Costa actual hasta el centro de la ciudad de Portoviejo.

Unidad 1- Facies de plataforma

Corresponden a las facies presentes en los testigos de perforación P-04 y P-15, desde sus bases hasta la profundidad aproximada de 64 y 10 metros respectivamente (Fig. 5.2). Se han correlacionado las litofacies con características similares entre dichos testigos de la siguiente manera:

En el testigo de perforación P-04, desde 160 a 111,2 metros se diferencia hacia la base litofacies Fl, conformadas por limolitas y lutitas grises con variaciones de color entre las tonalidades de gris oscuro y marrón grisáceo, con presencia de intercalaciones de arenas, laminación paralela, laminación cruzada y microfósiles con abundantes foraminíferos, restos de conchas, fragmentos fósiles y espículas.

En el sondeo P-15 de 30 a 23,3 m y en P-04 desde 111,2 hasta 99 metros de profundidad se relacionan respectivamente las litofacies Fsl1 y Fsl2. Las litofacies son limolitas con laminación paralela, intercalaciones de arenas, capas de cenizas centimétricas de tonos blancos, verdes amarillentos con bordes ocre y microfósiles. Las capas difieren en sus colores, Fsl1 es una limolita gris clara, mientras que la limolita de Fsl2 es marrón grisácea y tiene lentes de arena y bioturbación.

En P-15 desde 23,3 m hasta 20,4 m, las alternancias de limolitas y lutitas de color gris azulado que son parte de la litofacie Fm1 y se correlaciona con las litofacies de P-04: Fm3 y Fm4. Fm3 corresponde a lutitas grises oscuras que se encuentran entre 99 y 95,3 m y Fm4, se denomina a las limolitas grises de color a marrón-grisáceo y negro, con mayor contenido de materia orgánica que se encuentran entre 95,3 y 82 metros de profundidad. Todas las litofacies presentan fósiles de tamaño menor a 1mm, capas de arcillas de tonos verdes amarillentos y ocre y de ceniza blanca.

En P-15, de 20,4 a 17 m la litofacie Fm2 se relaciona con Fsm2 de P-04 que se encuentra entre 82 y 74 m. Las litofacies son limolitas grises verdosas, masivas con capas centimétricas de ceniza blanca hacia la base y verde amarillento hacia el tope. Presentan microfósiles de formas redondeadas y alargadas y fragmentos de conchas. Fm3 son lutitas gris oscuro a negro, fósiles, con mayor contenido de materia orgánica.

De 17 a 10 metros (P-15), las limolitas grises verdosas de la litofacie Fls2 se correlacionan con las litofacies Fl4 y Fl5 que se encuentran entre 74 y 64 metros (P-04). Las facies designadas como: Fl4 son limolitas grises oscuras y Fl5 corresponden a lutitas grises oscuras. Las litofacies tienen laminación lenticular hacia la base, intercalaciones de arenas laminadas y microfósiles. Fl4 presenta laminación cruzada (hummocky) y bioturbación.

facies	subfacies	columna	estructura interna	% de arena	espesor (cm)	procesos sedimentarios y observaciones
S ARENISCAS	S _a		estratificación cruzada tabular o en surco	100%	20-200	migración de megaripples de crestas rectas o sinuosas
	S _b		laminación paralela o cruzada de bajo ángulo		variable	laminación de alta energía debida a olas o corrientes
	S _c		laminación cruzada	90%	1-5	migración de ripples de corriente, de oscilación o de una combinación de ambos
H HEEROLÍTICAS	H _a arena dominante		laminación paralela		5-20 máx. 200	la arena se deposita como carga de fondo y desde la suspensión durante los temporales y sufre un retrabajado por ripples de corriente y de oscilación la arena puede contener restos de conchas removilizadas frecuente amalgamación de capas areniscosas bioturbación más abundante en las intercalaciones lutíticas
			laminación paralela y cruzada		5-20 máx. 200	
			laminación paralela y cruzada en surco		5-20 máx. 50	
			sets aislados de estratificación cruzada tabular		5-20 máx. 50	
			laminación flaser en arena	75%	1-5	
	H _b alternancias de arena y lutita		laminación paralela		1-10	esencialmente, areniscas con laminación cruzada de ripples de corriente, de oscilación o de una combinación de ambos y, en menor proporción, laminación paralela; la parte alta de los niveles de arenisca esta bioturbada estas son las facies de tormenta y las intercalaciones de lutitas representan las condiciones de buen tiempo
			de laminación paralela a laminación cruzada		1-10	
			laminación cruzada de bajo ángulo		1-10	
	H _c lutita dominante		laminación flaser y ondulada		1-3	laminación lenticular formada, por olas o corrientes en un fondo con poca arena algunas capas delgadas de areniscas laminadas depositadas desde la suspensión durante las tormentas las intercalaciones de lutita indican condiciones de buen tiempo: depósito desde la suspensión, intensa bioturbación
			laminación paralela	50%	1-5	
		laminación paralela y cruzada		1-5		
M LUTITAS	M _a		laminación lenticular	10%	1-3	lutitas con alguna capita delgada de arenisca depósito desde la suspensión olas y corrientes sólo actúan durante las grandes tormentas intensa bioturbación y fauna bentónica más o menos in situ
	M _b		arañas granoclasificadas y capas ricas en conchas		0.1-2	
			lutitas	0%	< 0.5	

Figura 5.3 Principales litofacies depositadas en ambientes someros siliciclásticos. Modificado de Johnson, 1978 y Boersma, 1975.

Las litofacies de esta unidad del basamento sedimentario son heterolíticas de acuerdo con la clasificación de ambientes siliciclásticos someros de Johnson (1978) y Boersma (1975) (Fig. 5.3). Hacia la base, las facies se caracterizan por tener alternancias de arena y lutita (limolitas) que se denominan: H_b, en la que sus areniscas con laminación cruzada y paralela representan facies de tormenta. En el techo predominan facies de lutitas dominante H_c, cuyas estructuras internas son laminación paralela y cruzada en las capas delgadas de areniscas depositadas desde la suspensión durante las tormentas. Además de laminación lenticular formada por olas o corrientes en un fondo con menor proporción de arena respecto a la proporción de sedimentos finos. En conjunto las estructuras internas mencionadas, la granoselección positiva o granodecreciente y el alto contenido fosilífero representan las partes más distales de las corrientes mareales y los depósitos de plataforma. De esta manera, las litofacies descritas como H_b y H_c forman parte del ambiente de plataforma que de acuerdo con Benítez (1995) corresponde a la Formación Villingota que es descrita como arcillas grises, laminadas, quebradizas, de tonalidades claras a blancas (en superficie), con escamas de pescado y foraminíferos; además tienen intercalaciones de arcillas grises más tufáceas y limolitas calcáreas en estratos centimétricos bien estratificados en concreciones (Anexo II).

Las unidades superiores sobre el basamento sedimentario corresponden al relleno cuaternario del valle de Portoviejo, en las que se diferencian facies de relleno de estuario y facies fluviales representadas en los 4 testigos por las siguientes unidades y correlaciones litológicas (Fig. 5.2).

Unidad 2- Facies costeras- de estuario

Las litofacies que sobreyacen al basamento sedimentario de la Formación Villingota son arenas, arcillas y limos de tonos marrones, cremas, grises y pardos, cuyo espesor en el testigo de mayor profundidad (P-04) corresponde a 62,5 metros. Hacia la base del relleno, la litofacie Gm1 de conglomerados con matriz soportada de gravas finas y arenas gruesas, clastos subredondeados y subangulosos de composición andesítica y carbonatada marca el inicio de la sedimentación del ambiente costero transicional.

En la correlación entre los testigos P-04 y P-15 (Fig. 5.2), las litofacies semejantes se encuentran entre las profundidades de 62,5 y 59,5 para: Gm1 y Fm5 (P-04); y de 10 a 7 m la litofacie Gm1 (P-15) y Gmg2 a 8 m (P-15); en las que destacan el alto contenido microfósiles y fragmentos de concha (Fig. 4.24). Estas facies se asocian a la presencia de ambientes costeros de playa.

El testigo PVS-5 fue extraído con el método SPT, lo que no permite apreciar estructuras sedimentarias en las muestras, pero el alto número de foraminíferos encontrados en sus muestras (Fig. 4.25) aporta evidencia de influencia marino-costera entre 11 y 5 metros de profundidad (Figs. 5.1 y 5.2).

La correlación entre los testigos de perforación P-15 y PVS-5, que se encuentra hacia el oeste, se realizó entre las litofacie del mismo nombre: Sm1, localizadas entre 5 m y 4 m en P-15 y desde 11 m hasta 10 m de profundidad en PVS-5. Su litología es de arenas gruesas de color gris oscuro a negro, moderadamente sorteadas, con líticos, fragmentos de conchas y cemento carbonatado. Estas facies se podrían asociarse a facies someras de lagunas costeras o barras arenosas mareales.

De 3 a 1 de profundidad en P-15, la litofacie Fsm2 de limos arenosos amarillentos se relaciona con Sfm2, entre 8 y 7 m en el PVS-5 compuesta por arenas de tonos marrones que varían entre el tamaño fino y medio con un bajo porcentaje de limos. Ambas litofacies presentan conchas, carbonatos y materia orgánica. Estas facies se asocian a facies más profundas de lagunas costeras/ambientes de baja energía en zona mareal.

Unidad 3- Facies con Influencia Fluvial

Las litofacies superiores del relleno aumentan su presencia hacia el interior de la ciudad de Portoviejo y se reflejan principalmente entre los testigos de perforación P-04 y PVS-4 y en el techo de PVS-5. La correlación entre las litofacies es relativa respecto a las litofacies denominadas como: Fsm, Fm, Sfm, Sm y Fsl (Fig. 5.2), en las que varían ligeramente las proporciones de arenas/limos/arcillas.

El PVS-4 tiene sedimentos de tamaño arena, limo y arcilla, de colores marrones y grises. En la base existe mayor cantidad de sedimentos limos arenosos (Fsm), en el centro del testigo predominan las litofacies arcillo-limosas (Fm) y hacia el techo las litofacies cambian en la proporción arena/limo/arcilla (Fsm) y tienen carbones.

Las litofacies predominantes del PVS-4 son limos arenosos masivos y repetitivos, con variaciones de colores marrones, ocres y grises, los porcentajes de arcillas son variables, no se visualizan estructuras sedimentarias debido al método SPT de extracción del testigo, por consiguiente no es posible asegurar la influencia mareal respecto a este criterio, sin embargo por la ausencia de microfósiles se interpreta como facies de estuario de desembocadura que presenta principalmente influencia fluvial.

La correlación entre los testigos del centro es relativa según la proporción arenas/limos/arcillas y se produce entre las litofacies del techo de PVS-5 y las litofacies de la base de PVS-4 (Fig. 5.2). De acuerdo con la asociación de litofacies mencionada los dos testigos presentan influencia fluvial.

Modelo del Relleno

La asociación y correlación de litofacies descritas en las unidades 2 y 3 definen al ambiente sedimentario de relleno de un estuario, similar al modelo de Dalrymple et al. (1992), como una porción hacia el mar de un sistema fluvial inundado que recibe sedimento procedente de fuentes fluviales (Topes de P-04 y PVS-4) y marinas (P-15 y hacia la base de PVS-5), y que contiene facies sedimentarias influenciadas por las mareas, el oleaje y los procesos fluviales (Fig. 5.4 y 5.8). Más específicamente el estuario estuvo controlado principalmente por la marea de acuerdo con las asociaciones de litofacies mencionadas, sus variaciones hacia la desembocadura y sus microfósiles (Fig. 5.2, 5.4 y 5.6).

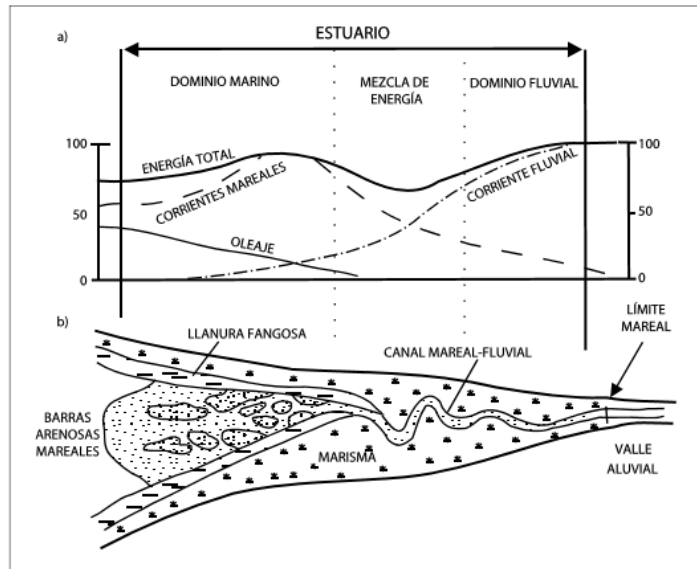


Figura 5.4. Estuarios dominados por la marea: a) variación de la energía, b) distribución de facies en planta. Modificado de Dalrymple et al., 1992, citado en Arche (2010).

La sucesión de litofacies formada por un estuario dominado por la marea puede consistir en una combinación de depósitos de canales mareales, llanuras de marea y barras mareales, cuyas porciones preservadas dependerían de la posición del estuario, la fuerza de las corrientes mareales y el aporte de arcilla, arena y grava disponible para depositar (Figs. 5.4 y 5.5) (Nichols, 2009).

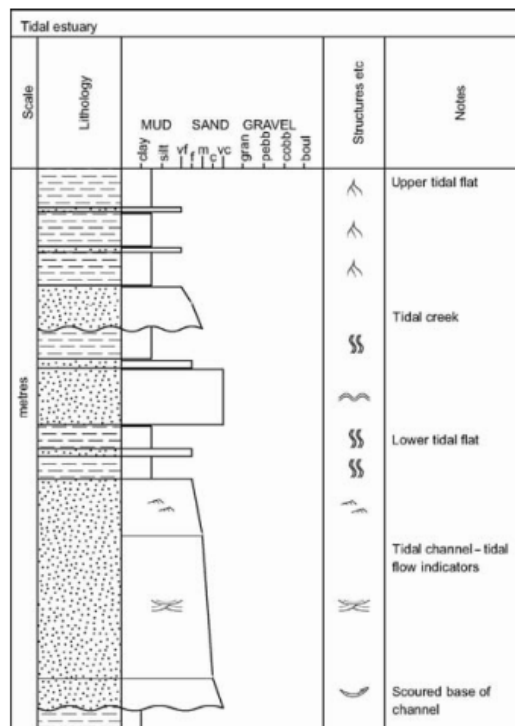


Figura 5.5. Registro sedimentario de depósitos de estuario dominado por la marea. Tomado de Nichols (2009).

De acuerdo con Arche (2010), a pesar de la complejidad de los sistemas estuarinos y la falta de modelos, es posible predecir la sucesión estratigráfica del estuario a medida que asciende el nivel de mar desde un nivel bajo (lowstand-LST) y subsiguiente estabilización en el nivel alto (highstand-HST) (Fig. 5.6); sin embargo, pueden haber variaciones en el modelo.

La base del paleovalle está marcada por una discontinuidad erosiva formada por la erosión fluvial durante el nivel del mar bajo (Weimer, 1984; Van Wagoner et al., 1990, citado en Arche (2010)). El cambio mencionado no se visualiza en los testigos de perforación debido al método de extracción y las profundidades alcanzadas, las litofacies de la base de la secuencia se encuentran disgregadas, sin embargo, las litofacies de sedimentos más gruesos que se encuentran en la base: Gm1 del P-04 y P-15 marcan el cambio de ambiente de depósito. El contacto del relleno con el basamento sedimentario de la Formación Villingota constituye una discordancia angular, ya que la Formación Villingota se observó en campo con buzamiento y plegamiento en afloramientos superficiales (Figs. 5.6 y Anexo II).



Figura 5.6. Afloramiento de la Formación Villingota, Vía a Crucita.



Figura 5.7. Afloramiento de la Formación Villingota, Cantera.

Las facies sedimentarias de un estuario dominado por mareas muestran una secuencia granodecreciente, seguida por el relleno del estuario y la progradación de las barras arenosas o las llanuras de marea, estas últimas más abundantes hacia la desembocadura (Figs. 5.5 y 5.8).

La correlación estratigráfica realizada entre los testigos de perforación tiene relación con el modelo esquemático de Zaitlin et al., 1994 (Fig. 5.8), en el que de acuerdo con la secuencia de facies la sección del estuario del testigo P-15 (parte superior) estaría en posición similar a T1 (Fig. 5.8) y el P-04 se encontraría ubicado en posición similar a T2 (Fig. 5.8).

Las facies limo-arenosas de P-04 denominadas como: Fm5 a 61,5m y Sm1 a 59,5, corresponden a facies de transición de la Costa. A continuación, se superpone una litofacie de alto contenido de materia orgánica (Fr1) entre 58 m y 54 m aproximadamente que corresponde a una litofacie de llanura mareal, que se caracteriza por depósitos lodosos ricos material orgánico y sedimento arenoso, que fueron depositados dentro de arroyos de marea cuando se producen mareas altas y durante las tormentas (Arche, 2010).

En P-04, las litofacies del estuario tienen la base sedimentos gruesos granodecrecientes: Gmg2 que se encuentran de 54 a 50 m de profundidad. La litofacie Gmg2 es la base del canal fluvio-mareal a las cuales se les superponen litofacies arenosas con intercalaciones de limos (Sfm, Sm, Fm), la cuales representan la zona media meandriforme, sometida a las influencias mixtas de la marea y del río (Arche, 2010).

La secuencia que forman las litofacias del techo de los testigos: P-04 (Fig. 4.3), PVS-4 y PVS-5 tiene estratificación heterolítica inclinada (abreviado por sus siglas en inglés como IHE), que se refiere a capas alternadas de arena y lodo. Estas alternancias de capas son una característica distintiva de la influencia mareal (Nichols, 2009). Los sedimentos finos se acumulan principalmente en los márgenes del estuario en forma de llanuras intermareales y/o marismas (Figs. 5.5. y 5.8), similares al modelo existente en la actualidad próximo a la desembocadura. Sin embargo, no se descarta la generación de barras de marea y lagunas costeras asociadas a la desembocadura en etapas finales del relleno del estuario, ya que en la actualidad existen frentes de dunas fósiles y barras que han funcionado en épocas recientes.

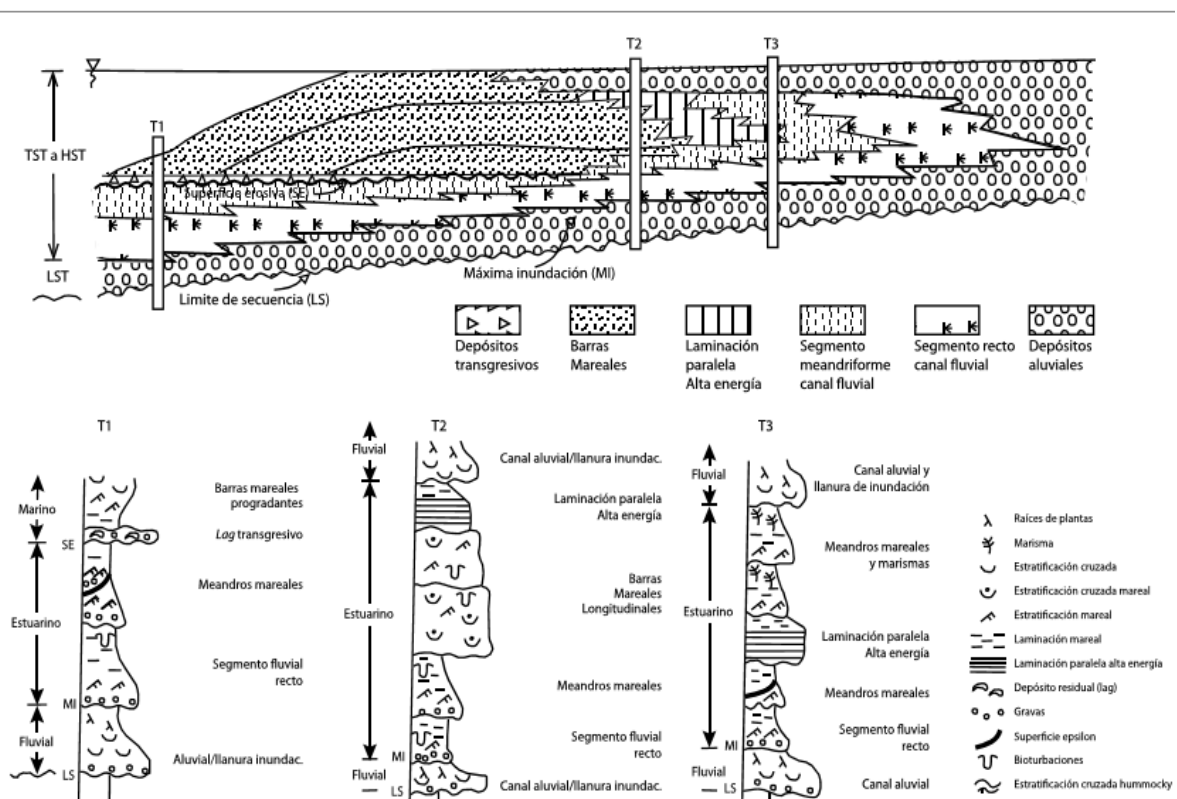


Figura 5.8. Sección longitudinal esquemática de un estuario dominado por la marea. Modificado de Zaitlin et al., 1994.; Tomado de Arche (2010).

Asociación de facies estuarinas resultante de la transgresión, seguido por el relleno del estuario y la progradación de las barras o llanuras de marea. La preservación de la sucesión transgresiva depende de la tasa de ascenso del nivel del mar y de la traslación hacia la cabecera del thalweg de los canales mareales. Las facies analizadas en este estudio presentan secuencias similares a la T1 (testigo P-15) y a la T2 (testigo P-04).

La evolución de los ambientes sedimentarios transicionales se define considerando la secuencia de litofacies de los testigos de perforación, que demuestran un incremento del nivel eustático durante una antigua transgresión hasta el centro de la actual ciudad de Portoviejo que es donde se ubica el testigo P-04, seguida por el relleno del estuario y la progradación de barras o llanuras de marea hacia la Costa actual. La influencia mareal es importante hasta la ubicación del PVS-05 que presenta en la base litofacies con alto contenido de microfósiles, que son semejantes a las litofacies del testigo P-15 que se encuentran en el techo (Figs. 4.7, 5.1, 5.2, 5.8 y 5.11).

Lo mencionado es consistente con que describe Marksteiner (1993) en la Cuenca de Manabí, en el Mioceno Medio se produce una emersión en la zona Sur depositándose la Formación Angostura e inmediatamente una nueva transgresión hasta ambiente circalitoral. Luego se presenta una lenta transgresión hasta el Plioceno y la emersión generalizada en el Pleistoceno (Deniud, 2000). Las facies del relleno del valle estudiadas estarían asociadas a proceso de transgresión y regresión durante el Cuaternario.

Los resultados en el área de estudio coinciden con Chacón (2018), que describe que el valle del río Portoviejo se encuentra parcialmente colmatado por depósitos marinos acumulados durante transgresiones y regresiones del nivel del mar que se encuentran al norte y centro de la ciudad de Portoviejo, hasta el sector El Guayabito y Las Cuatro Esquinas. Sin embargo su interpretación del ambiente sedimentario como una ría fluvio-marina para el valle de Portoviejo difiere con los resultados de este estudio en el que debido a las condiciones deposicionales, la presencia de materiales más finos (contenido de arcilla significativo) se define como un estuario, cuya distribución de facies está asociada a menor energía que es controlada por el balance entre la contribución fluvial y mareal (Arche, 2010).

La presencia de dunas hoy en día inactivas que se encuentran próximas a la desembocadura actual (Los Arenales) refleja la última etapa del relleno del estuario, con la progradación de una barrera de arena reciente que cierra la desembocadura y genera ambientes de lagunas costeras y marismas detrás de la barra.

5.2. Procesos que condicionaron el Relleno del Estuario de Portoviejo

El relleno sedimentario del Estuario de Portoviejo tiene un espesor de 60 metros en el testigo de mayor profundidad (P-04), lo cual sugiere alta tasa de erosión y tectónica activa.

De acuerdo con Chacón (2018), el espesor de los sedimentos fluvio marinos en el valle de la ciudad es variable, tiene mayor potencia desde el centro al Norte de Portoviejo y a la entrada de Picoaza, lugar en que los espesores alcanzan hasta 160 metros.

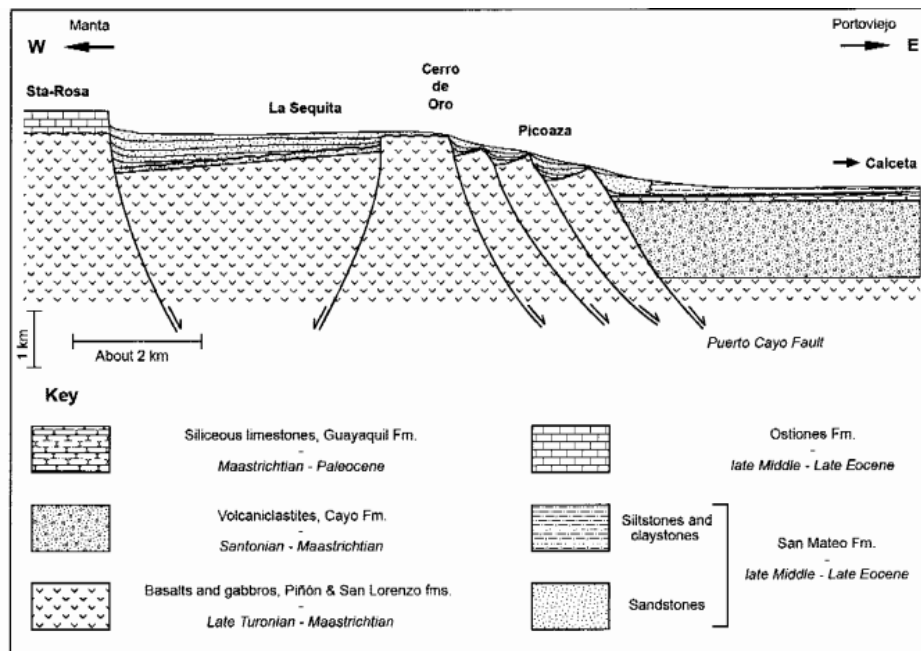


Figura 5.9. Corte O-E, entre Manta y Portoviejo. Tomado de Luzieux (2007).

En un perfil regional Luzieux (2007) en dirección O-E desde Santa Rosa hasta el valle de Portoviejo se observa un graben en el valle que está limitado por sedimentos siliciclásticos, derivados de la erosión de rocas volcánicas (Fig. 5.9). Además de las observaciones de Chacón (2018) que al Oeste del valle de Portoviejo el ramal de la falla Flavio Alfaro está marcada por un escarpe extenso de Higuierón entre Sosote y Picoaza, y al Este se observa trazas de falla en las rampas coluvio fluvial en dirección noroeste, estableciendo que las fallas se prolongan hacia el sur, lo que causa una dislocación del flanco oriental del graben.

Estudios geomorfológicos regionales en la Cordillera Costera realizados por Reyes (2012) miden los valores de desviación del Río Portoviejo en direcciones verticales y horizontales con orientación SE- NW (Fig. 5.8). Los estudios de desviación local del perfil del río desde su curva logarítmica se usan para determinar: ajustes de variación de litología, actividad

tectónica, cambio en el nivel base o fluctuaciones (Goldrick and Bishop 1995, citado en Reyes (2012)).

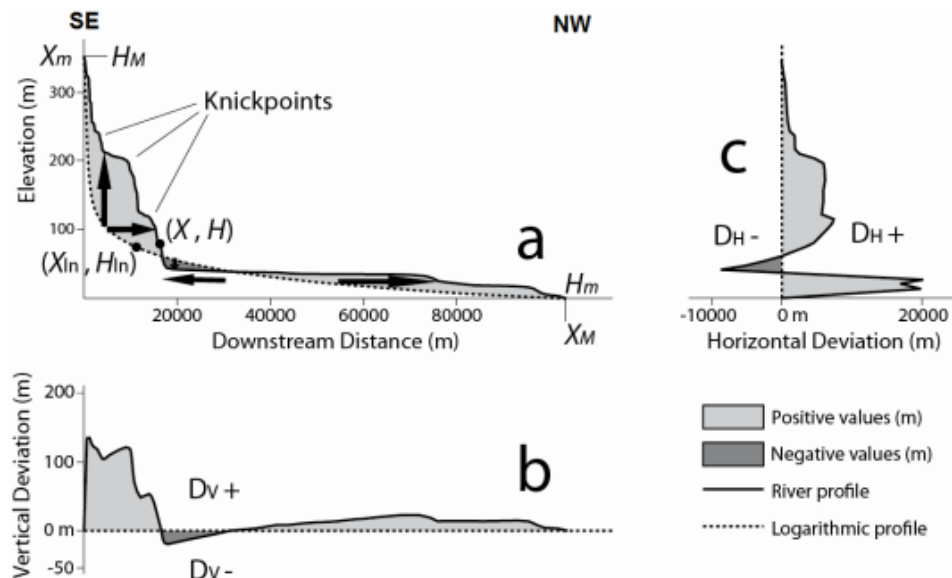


Figura 5.10. Esquemas de desviaciones verticales y horizontales de perfiles del río. (a) el perfil del río longitudinal corresponde al ejemplo del río Portoviejo y la asociación a la curva logarítmica. Las flechas negras muestran inclinaciones verticales y horizontales. Algunos knickpoints se muestran con líneas delgadas. (b) Valores de desviación vertical: cambios por elevación (c) Valores de desviación horizontal: tramos aguas abajo con aumento de pendientes. Tomado de Reyes (2012).

Los datos de desviación vertical revelan áreas con contrastes litológicos o áreas donde el levantamiento tectónico ha modificado localmente la elevación de los perfiles del río por subsidencia-levantamiento acumulativo o erosión-depositación (Fig. 5.10 a, b). Los valores positivos indican zonas donde el perfil tiende a ser convexo como incremento de la elevación, mientras que los valores negativos indican zonas donde el perfil tiende a ser cóncavo cuando la elevación decrece (Reyes, 2012). En cambio, la desviación horizontal resalta cambios de levantamiento pequeños localizados a lo largo del perfil del río, particularmente para pendientes aguas abajo (Reyes, 2012).

En el contexto regional, el levantamiento relativo de la Cordillera Costera de Reyes (2012) determina que al oeste de la zona de estudio se encuentra el dominio Portoviejo Pichincha que tiene una elevación activa en tasas relativamente bajas considerando características geomorfológicas como los valores de desviación medidos en perfiles de ríos y tasas de incisión. La relación entre la elevación y hundimiento del perfil del Río Portoviejo demuestra que la tectónica activa produjo el espacio de acomodación para los sedimentos que rellenaron el valle con mayores espesores de estos sedimentos hacia el área de Picoazá (Chacón, 2018).

Di Celma et al. (2005) respecto a las cuencas de Canoa y Manta, indican que evolucionaron en un escenario altamente activo y fueron colmatadas por depósitos marinos desde el Pleistoceno Temprano hasta el Pleistoceno Tardío.

Si se comparan los resultados de la investigación con estudios en la Costa ecuatoriana que analizan perforaciones, el relleno de sedimentos es similar a lo descrito en el Puerto de Manta y en el Golfo de Guayaquil (Laínez, 2009; Chunga et al., 2004).

La publicación de Chunga, et al., (2004) define en Golfo de Guayaquil los ambientes: costero, transicional y estuario submareal en tres perforaciones de 2 m de profundidad. La edad determinada mediante ^{14}C de un fragmento de madera resultó de $3.420a \pm 40 \text{ BP}$, con la que se calculó la tasa de sedimentación de 0.42 mm/año.

Laínez, G (2009) realiza perfiles de correlación geológica de 66 testigos de perforación con profundidades desde 2,5 m hasta 55,5m en el Puerto de Manta y determina la edad relativa de los sedimentos por la presencia de foraminíferos bentónicos encontrados desde el Plioceno al Pleistoceno y por foraminíferos planctónicos del Plioceno Temprano al Holoceno. El ambiente sedimentario de su área de estudio es marino de plataforma interna y aguas cálidas.

Por lo tanto, los rellenos cuaternarios observados en Portoviejo, con hasta 60 metros de espesor, son consistentes en potencia y localización, con la tectónica activa descrita en la Costa del Ecuador. Considerando las tasas de sedimentación y edades de estudios similares en la costa, la base del relleno cuaternario correspondiente a las facies más costeras y de transición de estuario podrían estar asociados a un pulso transgresivo del Pleistoceno Superior, ya que durante dichas edades existen pulsos de elevación del nivel mar de hasta 5 metros por encima del nivel actual (Hearty et al., 2007, Rohling et al., 2008, entre otros), que permitirían el ingreso del mar hacia tierra y la acumulación de las facies costeras y las posteriores facies de estuario mareal observadas cerca de Portoviejo, hoy en día a unos 60m de profundidad. Bajo ese escenario, posterior a la acumulación de dichos sedimentos costeros la tectónica activa debió de favorecer su subsidencia de estos.

El relleno superior del estuario con mayor presencia de facies fluviales hacia Portoviejo, facies de marismas-lagunas en los testigos PVS-05 y P-15, podrían estar asociadas al último pulso transgresivo del Holoceno (Lambeck et al., 2002; Siddal et al., 2003, entre otros), que culminaría con la instalación del sistema fluvial actual con presencia de barras de arena, dunas fósiles (localizadas en el Arenal) y zonas mareales cerca de la costa. Sin embargo, habría que verificar con dataciones ^{14}C en los sedimentos más recientes.

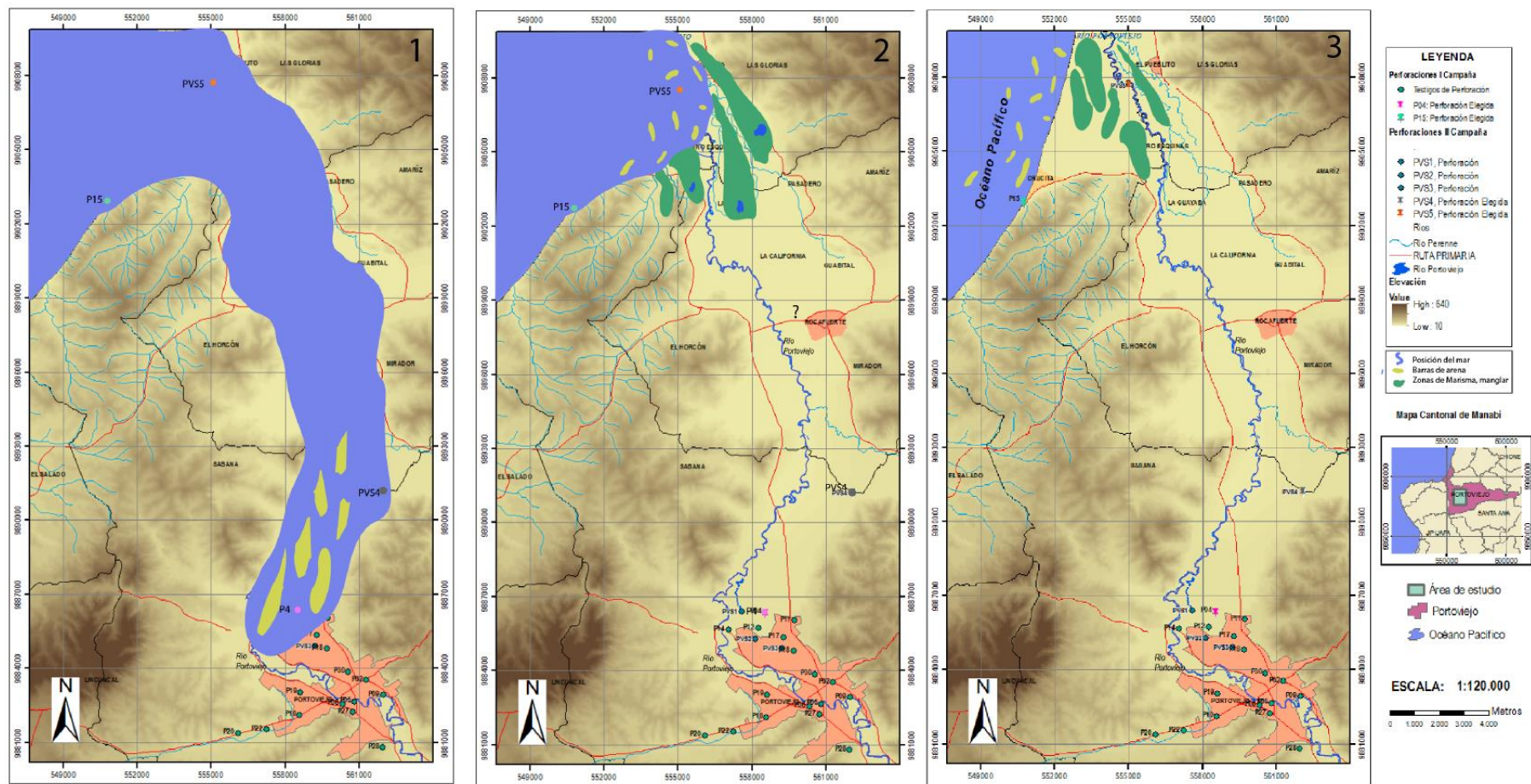


Figura 5.11. Modelo de evolución de ambientes en el valle del Río Portoviejo durante el Cuaternario.

1. Incremento del nivel eustático durante una antigua transgresión hasta el centro de la actual ciudad de Portoviejo (ubicación P-04). 2. Relleno del estuario, progradación de llanura de marea e influencia mareal al menos hasta la ubicación del PVS-05. 3. Progradación de barras, sistemas de dunas y llanuras de marea hacia la Costa actual.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se describieron 231 metros de muestras de testigos, provenientes de cuatro perforaciones, considerando el contenido microfósil en visu y características de los sedimentos se tomaron 24 muestras para su estudio detallado. De las cuales 15 resultaron favorables para microfósiles, las que se clasificaron considerando las características de sus cámaras permitió representar los subórdenes en el Diagrama Ternario de Clasificación de Murray (1991).

6.1. Conclusiones

- El basamento sedimentario está formado de limolitas y lutitas de tonos grises, que varían entre gris oscuro, marrón grisáceo gris verdoso y gris azulado. Presenta intercalaciones de arenas con laminación paralela, bioturbación, estratificación lenticular y cruzada con fósiles de tamaños milimétricos. Las rocas del basamento corresponden a la Formación Villingota de edad Mioceno Inferior, la que en el testigo P-04 tiene un espesor de 100 metros. A lo largo del valle del río, el basamento se encuentra a unos 64 metros de profundidad hacia el centro de la ciudad de Portoviejo (P-04) y a 8 metros en la costa (P-15).
- Los microfósiles de las muestras del basamento sedimentario (testigos P-04 y P-15) provienen de litofacies Fsl y Fl, en los que se diferencian principalmente a foraminíferos bentónicos que en mayor porcentaje son hialinos, un porcentaje medio de porcelanoides y escaso número de foraminíferos aglutinados, los que constituyen asociaciones típicas en las zonas de transición o plataformas internas.
- Las litofacies predominantes del basamento sedimentario son heterolíticas, con granoselección positiva y alto contenido fosilífero; hacia la base, predominan H_b: alternancias de arena con laminación cruzada y paralela y lutitas (limolitas), y en el techo facies de lutitas dominante H_c, con laminación paralela y cruzada en las capas

delgadas de areniscas y laminación lenticular; las cuales se depositaron en el ambiente de plataforma.

- El relleno cuaternario está conformado por arenas y limos de tonos marrones, cremas, grises y pardos, cuyo espesor en el testigo de mayor profundidad (P-04) es de 62 metros. Hacia la base del relleno, la litología se caracteriza por conglomerados con matriz soportada de gravas finas y arenas gruesas, sus clastos son subredondeados y subangulosos de composición andesítica y carbonatada, que corresponden a las litofacies Gm1 del P-04 y P-15 marcan el cambio de ambiente de depósito.
- Los foraminíferos de las muestras del relleno cuaternario de las litofacies Sm, Fsm o Sfm en los testigos P-15 y PVS-5, se asocian a paleoambientes hiposalinos como marismas y lagunas o marismas marinas abiertas.
- Las litofacies del relleno cuaternario Fsm, Fm, Sfm, Sm y Fsl se interpretan como un ambiente de estuario controlado principalmente por la marea considerando la secuencia con estratificación heterolítica, es decir capas alternadas arenas y limos de tonos marrones, cremas, grises y pardos. Las facies basales representan facies transicionales de estuario-playa, con presencia de foraminíferos y las facies superiores constituyen depósitos fluviales. En las perforaciones analizadas, el espesor del relleno cuaternario en el testigo de mayor profundidad (P-04) corresponde a 62 m.
- La correlación de los cuatro testigos de perforación con dirección NNW-SSE desde la playa actual de Crucita hasta la ciudad de Portoviejo; permitió describir la distribución de los tres ambientes principales que son: plataforma (basamento que corresponde a la Formación Villingota, Unidad 1), estuario-playa (transicional, Unidad 2) y fluvial (Unidad 3) de acuerdo con las asociaciones de litofacies y microfósiles.
- La evolución de los ambientes sedimentarios transicionales de las unidades 2 y 3, muestran un incremento del nivel eustático durante una antigua transgresión hasta centro de la actual ciudad de Portoviejo que es donde se ubica el testigo P-04, probablemente ocurrida durante el Pleistoceno Superior, seguida por el relleno del

estuario y la progradación de barras o llanuras de marea hacia la posición de la costa actual, durante el Pleistoceno Superior-Holoceno. La influencia mareal es importante hasta la ubicación del PVS-5 que presenta en la base litofacies con alto contenido de microfósiles, que son semejantes a las litofacies del testigo P-15 del techo.

- Las muestras de microfósiles tamizadas y separadas (24 muestras, de las cuales 14 provienen del relleno cuaternario y 10 son de la Formación Villingota) suponen un aporte a la colección de paleontología del Museo Petrográfico de la Facultad, tanto para futuros estudios del cuaternario de la costa, como para estudios detallados del Neógeno costero.

6.2. Recomendaciones

Para futuras investigaciones en el área se recomienda:

- La secuencia estratigráfica descrita en los cuatro testigos de perforación incluye descripciones detalladas por lo que se recomienda realizar dataciones radiométricas en las litofacies del relleno sedimentario analizado. De esta manera, sería posible determinar la tasa de sedimentación para correlacionarla con estudios similares en la Costa ecuatoriana, como los que se mencionan en el apartado 5.2.
- Los estudios micropaleontológicos de los foraminíferos realizados en este trabajo fueron realizados considerando la bibliografía de subórdenes Foraminíferos, además de eso es posible realizar estudios de identificación taxonómica más detallados a nivel de especie que serían recomendables para determinar la edad relativa de los sedimentos y mejorar la interpretación de otros aspectos paleoambientales (salinidad, temperaturas, turbidez, cantidad de oxígeno).

- Debido a los objetivos de los proyectos que financiaron las perforaciones, todas ellas se ubican en el Cantón Portoviejo, sin embargo, éstas no cubren toda la superficie del valle del Río Portoviejo ya que parte de este corresponde al Cantón Rocafuerte. Sería recomendable en el futuro realizar también perforaciones en esa parte del valle, tanto para aspectos geotécnicos como para complementar el estudio sedimentológico del relleno del estuario.
- Los resultados del trabajo de laboratorio del proyecto se ven reflejados en una colección de muestras de foraminíferos de la Formación Villingota y litofacies del relleno cuaternario, por lo cual se recomienda resaltar la importancia de la identificación de microfósiles como una herramienta complementaria para determinar ambientes de depósito. Además, sería recomendable aplicar este tipo de estudios en otros valles costeros del Ecuador para complementar la información de la evolución reciente de la costa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arche, A. (Ed.). (2010). *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*.
- Ali, M., El-Sabrouty, M., & El-Sorogy, A. (2015). *Micropaleontology*. Riyadh, Saudi Arabia. King Saud University Press.
- Alvarado, K. (2018). *Mapa de Microzonificación Geotécnica y Modelo Geológico-Geotécnico 3D de la ciudad de Portoviejo*. (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Armstrong, H., & Brasier, M. D. (2005). *Microfossils* (2nd ed). Oxford, UK. Blackwell Publishing.
- Baby, P., Rivadeneira, M., Barragán, R., Christophoul, F. (2013). Thick-skinned tectonics in the Oriente foreland basin of Ecuador, Geological Society, London, Special Publications, 377 (1), pp. 59-76.
- Baldock, J. W. (1982). *Geología del Ecuador*. Quito, Ecuador: Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos.
- Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, J. and Santacroce, R. (1988). Plio-Quaternary volcanism in Ecuador., *Geol. Mug.*, 125, 1, pp. 1-14.
- Benítez, Stalin (1995). *Evolution Géodynamique de La Province Côtière Sud-Équatorienne Au Crétacé Supérieur-Tertiaire*. Université Joseph-Fourier-Grenoble I. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00542421/>, accessed September 12th, 2019.
- Boersma, J. R. (1975): Rock types and sedimentary structures. En R. N. Ginsburg (ed.), *Tidal Deposits: A Casebook of Recent Examples and Fossil Counterparts* Springer-Verlag, Berlín.
- Boudagher-Fadel, M. K. (2013). *Biostratigraphic and Geological Significance of Planktonic Foraminifera* (2nd ed). London. UCLPRESS.
- Bristow y Hoffstetter (1977). *Lexique Stratigraphique International*; Ecuador Segunda, 5a2.

- Cantalamesa Gino, Claudio Di Celma, and Luca Ragaini (2005). Sequence Stratigraphy of the Punta Ballena Member of the Jama Formation (Early Pleistocene, Ecuador): Insights from Integrated Sedimentologic, Taphonomic and Paleoecologic Analysis of Molluscan Shell Concentrations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 216(1–2): 1–25.
- Chacón, D. A. (2018). Geología del Cuaternario de la Ciudad de Portoviejo y su Zona de Influencia (Escala 1:20000). (Tesis de Grado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Chapman, F., 1902, *The Foraminifera: An Introduction to the Study of the Protozoa*. London: Longmans, Green and Co. Chunga, K., Dumont, J., Iturralde, D., &
- Cushman, J. A., 1927, An outline of a re-classification of the foraminifera, *Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminifera/ Research* 3:1-105.
- Cushman, J. A., 1928, Foraminifera their classification and economic use, *Special Publications Cushman Laboratory for Foraminiferal Research* 1:1-401.
- Ordóñez, M. (2004). *Evidence of a Tsunami Deposit from about 1250 yr B.P., Gulf Of Guayaquil, Ecuador*. pp 17.
- Dalrymple, R. W.; Zaitlin, B. A. y Boyd, R. (1992): Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *J. Sediment. Petrol.*, 62, 1130-1146.
- Das, B. M. (2010). *Principles of geotechnical engineering* (7th. ed.). Stamford, USA. Cengage Learning. 770p.
- Deniaud, Y. (1998). Evolución Tectono-Sedimentaria de las Cuencas Costeras Neógenas del Ecuador, *PetroProducción- Orstom*, 74p
- Deniaud, Y. (2000). Enregistrements Sedimentaire et Structural de L' Evolution Geodynamique des Andes Equatoriennes au Cours du Neogene: Etude des Bassins d' Avant-Arc et Bilans de Masse. PhD Thesis. Université Joseph Fourier - Grenoble, pp 157.

- Evans, C.D.R. & Whittaker, J.E. (1982). The Geology of the western part of the Borbon Basin, North-West Ecuador. *Geolo. Aoc. London. Spec. Publ.*, 10, 191-200.
- Enríquez, A. M. (2018). Zonificación de la Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa Provocados por Terremotos en la Ciudad de Portoviejo. Tesis de Grado. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Goldrick, G., Bishop, P., 1995. Differentiating the roles of lithology and uplift in steepening bedrock river long profiles: an example from Southeastern Australia. *J. Geol.* 103, 227- 231.
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN). (2017). Estudio de Microzonificación Sísmica del Cantón Portoviejo. Segunda Fase.
- Haq, B., & Boersma, A. (1998). *Introduction to Marine Micropaleontology* (1st ed). Singapore. Elsevier.
- Haynes, J. R. (1981). *Foraminifera* (1st ed). London and Basingstroke. Macmillan Publishers Ltd. pp 475.
- Hearty P.J., Hollin, J. T., Neumann, A. C., O’Leary, M. J., McCulloch, M. (2007). Global sea-level fluctuations during the Last Interglaciación (MIS 5e). *Quaternary Science Reviews*, 26, 2090–2112.
- Johnson, H. D. (1978): Shallow siliciclastic seas. En H. G. Reading (ed.), *Sedimentary Environments and Facies*. Blackwell Sci. Pub.
- Laínez, G. (2009). “Relevamiento y Correlación Geológica Del Sector Oriental Del Puerto De Manta, Provincia de Manabí, Ecuador”. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Lambeck, K., Esat, T.M., Potter, E.K. (2002). Links between climate and sea levels for the past three million years. *Nature*, 419,199-206.
- Láprida, C. (1997). *Micropaleontología (Ostracodos y foraminíferos) y paleoecología del Cuaternario Tardío del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, República Argentina*. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 574p.

- Lasluisa, E., & Moreno, K. (2018). La Formación Macuma en la Cordillera de Cutucú al Sureste de Ecuador: Paleontología y Estratigrafía. Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Litherland M., Aspden, J. and Jemielita R. (1994). The Metamorphic belts of Ecuador., Brithish Geological Survey, Overseas Memoir, 11, pp. 147.
- Loeblich, A. R., Jr., and H. Tappan, 1964, Foraminiferal classification and evolution, Journal of the Geological Society of India 5:5-40.
- Loeblich, A. R., & Tappan, H. (1988). Foraminiferal genera and their classification (1st ed). New York, USA. Springer Science+Business Media.
- López, J. (1997), Manual de Perforación y Voladura de Rocas.
- Luzieux, L. (2007). Origin and Late Cretaceous-Tertiary Evolution of the Ecuadorian Forearc. PhD these. ETH Zurich, Switzerland.
- Marksteiner R. & Aleman A. 1991. Coastal Ecuador Technical Evaluation Agreement. Amoco Prod. Co. & Petroecuador, Rapport inédit, 1 vol, 218 p.
- Miall, A. D. (1978). *Lithofacies Types and Vertical Profile Models in Braided River Deposits: A Summary*. 8.
- Miall, A. D. (1985). Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth-Science Reviews*, 22, 261-308.
- Miall, A. D., 1996, The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology: Springer- Verlag Inc., Heidelberg, 582 p
- Molina, E. (2004). Foraminíferos bentónicos: Fusulinina. En: E. Molina (ed.), Micropaleontología. Prensas Universitarias de Zaragoza. pp. 231-247.
- Murray JW. Ecology and Paleoecology of Benthic Foraminifera. Harlow: Longman; 1991.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy* (2nd ed). Wiley-Blackwell.
- Olsson A.A. (1942). Ternary deposits of NO South America and Panama. Proc. 8th Am, Sci. Confr. Washington, 4, 1, p. 231-287.

- Ordoñez, M., Zambrano I., & Jiménez, N. (1988). Bioestratigrafía del Pozo Ricaurte 1. C.E.P.E.
- Ordoñez, M., Jiménez, N., & Suarez, J. (2006). Micropaleontología Ecuatoriana. Petroproducción - CIGG. Ecuador.
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador - PUCE. (2017). Estudio de las características geo mecánicas de suelos a través de perforaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio dentro del proyecto de microzonificación Sísmica de Portoviejo. Laboratorio de resistencia de materiales, mecánica de suelos, pavimentos y geotecnia.
- Reyes, P. (2013). Évolution du Relief le Long des Marges Actives: Étude de la Déformation Plio-Quaternaire de la Cordillère Côtière d' Équateur. PhD Thesis. Université de Nice Sophia Antipolis, France. 311p.
- Reyes, P. & Michaud, F. (2012). Mapa Geológico de la Margen Costera Ecuatoriana. EP PetroEcuador-IRD (Eds). Quito, Ecuador.
- Reynaud, Cédric, Étienne Jaillard, Henriette Lapierre, Marc Mamberti, and Georges H. Mascle (1999). Oceanic Plateau and Island Arcs of Southwestern Ecuador: Their Place in the Geodynamic Evolution of Northwestern South America. *Tectonophysics* 307(3): 235–254.
- Rohling, E. J., Grant, H., Hemleben, Ch, Siddall, M., Hoogakker, B.A.A., Bolshaw, M., Kucera, M. (2008). High rates of sealevel rise during the last interglacial period. *Nature geoscience*, 1, 38-42.
- Saraswati, P. K., & Srinivasan, M. S. (2015). *Micropaleontology Principles and Applications*. New York, NY. Springer Science+Business Media.
- Siddall, M., Rohling, E.J., Almogi-Labin, A., Hemleben, Ch., Meischner, D., Schmelzer, I; Smeed. D.A (2003). Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*. 423, 787-902.
- SNI (Sistema Nacional de InFormación). (2012). Proyecto: “Generación d GeoinFormación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional. 1:25000” Cantón Portoviejo. Memoria Técnica – Clima e Hidrología. 24p.

- SNI (Sistema Nacional de InFormación). (2012). Proyecto: "Generación de GeoinFormación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional. 1:25000" Cantón Portoviejo. Memoria Técnica – Geomorfología. 35p.
- Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, T., & Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, Southern Central America and northwestern South America; CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 157-171.
- Van Wagoner, J. C.; Mitchum, R. M.; Campion, K. M. y Rahmanian, V. D. (1990): Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies: Tulsa. AAPG. *Methods in Exploration Series*, 7.
- Weimer, R. J. (1984): Relation of unconformities, tectonics and sea level changes, Cretaceous of Western Interior, USA. En J. S. Schlee (ed.), *Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation*. AAPG Memoir, 36, 7-35.
- Yepez, H., Laurence, A., Alvarada, A., Beauval, C. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador: implication in seismogenic sources definition and seismic hazard. *American Geophysical Union*.
- Zaitlin, B. A.; Dalrymple, R. W. y Boyd, R. (1994): The stratigraphic organization of incised-valley systems associated with relative sea-level change. En R. W. Dalrymple, R. Boyd y B. A. Zaitlin (eds.), *Incised-valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences*. SEPM, Spec. Publ. 51, 45-60.

ANEXOS

Anexo I– Tablas de contabilización de fósiles de los Testigos de Perforación.

Nº Muestra Asociación Fósil	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Foraminíferos	81	109	13	39	73	34	50	18	1
Fragmentos de conchas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fragmentos fósiles	29	30	12	20	28	12	0	12	1
Espículas (silíceas)	7	8	4	2	6	0	0	0	0
Fósiles no identificables	6	0	0	7	0	3	26	1	0
Total	123	147	29	68	107	49	76	31	2

P-04

P-15

Nº Muestra Asociación Fósil	M1	M2	M3	M4	M5
Foraminíferos	38	25	0	13	79
Fragmentos de conchas	0	0	0	14	16
Fragmentos fósiles	21	21	0	3	3
Espículas (silíceas)	0	0	0	0	1
Fósiles no identificables	0	0	0	5	5
Total	59	46	0	35	104

PVS-04

Nº Muestra Asociación Fósil	M1	M2
Foraminíferos	0	0
Fragmentos de conchas	0	0
Fragmentos fósiles	4	16
Espículas (silíceas)	0	0
Fósiles no identificables	0	0
Total	4	16

PVS-05

Nº Muestra Asociación Fósil	M1	M2	M3
Foraminíferos	24	65	8
Fragmentos de conchas	10	0	0
Fragmentos fósiles	15	28	10
Espículas (silíceas)	2	0	1
Fósiles no identificables	5	10	6
Total	56	103	25

Anexo II. Fotografías de muestras la Formación Villingota.

