

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLIVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO SECUENCIAL DEL BLOQUE
JUNÍN, INTERVALO CRETÁCICO (MAASTRICHTIENSE-
ALBIENSE) EN LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO HUGO
CHÁVEZ FRÍAS, ESTADO ANZÓATEGUI, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR LA
BACHILLER ORTEGA A.,
ARELSIS C. PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, MAYO 2024



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

ACTA DE APROBACIÓN

Esta Tesis de Grado, titulada “**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO SECUENCIAL DEL BLOQUE JUNÍN, INTERVALO CRETÁCICO (MAASTRICHTIENSE- ALBIENSE) EN LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO HUGO CHÁVEZ FRÍAS, ESTADO ANZÓATEGUI, VENEZUELA**”, presentada por la bachiller **ORTEGA, A. ARELSIS, C.** de cédula de identidad No. **29.522.494** ha sido **APROBADO** como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO**, de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Apellidos y nombres

Firma

(Asesor académico)

(Jurado)

(Jurado)

Prof(a). Rosario Rivadulla
Jefe de Depto. de Geología

Prof. Francisco R. Monteverde S.
Director de la Esc. de Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar _____ del mes de Abril del año 2024.

DEDICATORIA

A **Dios**, porque todo se lo debo a Él.

A Richard Ortega y Ana Anzoátegui por su crianza, por su dedicación y por alentarme cada día a alcanzar el éxito; por ser los mejores padres. A Antonio Ortega, por hacerme sentir orgullosa de ser su hermana y ser inspiración para alcanzar mis metas. Por último a mi familia por creer en mí y por apoyarme en cada momento.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por haber estado conmigo en todo tiempo y darme las fuerzas para alcanzar esta meta, por ser mi guía y mi fortaleza. A mi familia en general, por apoyarme durante todo este trayecto. A mi madre Ana Anzoátegui, mi padre Richard Ortega y a hermano Antonio Ortega, por creer en mí y ser mis pilares. A la Universidad de Oriente Núcleo Bolívar, y su cuerpo de docentes por los conocimientos compartidos. A mi Tutora Académica Rosario Rivadulla, por su apoyo y dedicación en el desarrollo de la investigación.

A la Gerencia de PDVSA Exploración. A la Sra. Anahy Finno, por el cálido recibimiento y cariño. Al Sr. Andrés Griffit, por permitirme ser parte de su proyecto y siempre estar a la orden. A mi tutora Industrial Yanitza Rivas, por su amistad, dedicación, guía y confianza en mi trabajo. Al equipo del Proyecto Cretácico, por hacerme sentir parte de una familia, por cada consejo y por cada apoyo brindado, en especial al Sr. Andrés Noriega, Miguel Moya, María Ríos y Tatiana Sánchez. De igual manera, gracias a los ingenieros y geólogos, Kariné Pomonti, Dámaso García, Ana Puerta, Neida Moreno, Keyla Carmona, Livia Maita, Orlando Parra, Marzia Markovich, Elvira García y Bismarck Ortega, por dedicar su valioso tiempo a resolver mis dudas e inquietudes. A los amigos que formaron parte de esta meta, por cada experiencia, por cada lágrima compartida y por cada éxito celebrado, especialmente a Leopoldo y Neljulys, quienes aún en la distancia fueron motivación para mí. A Fraviana, Edymar, Natacha, Oriana, Michael, Francisco y Néstor por su amistad incondicional. Por último, gracias a Carlos García y Miguel Habanero por toda la ayuda y conocimientos compartidos a lo largo de mi carrera.

Gracias a las familias González, Aguirre y Bittar por su apoyo incondicional. A todas y cada una de las personas que de alguna u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo, Dios los bendiga, Gracias.

RESUMEN

El área de estudio del presente trabajo se encuentra ubicada en la parte sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, en los estados de Guárico y Anzoátegui, denominada: Bloque Junín, perteneciente a la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías. Limita al oeste con el Bloque Boyacá, al este con el Bloque Ayacucho y al sur con el río Orinoco. El objetivo principal de esta investigación, es realizar un análisis estratigráfico secuencial en el intervalo Cretácico del área, con la finalidad de analizar la distribución lateral de los sistemas depositacionales en dicho intervalo. Las etapas de la investigación comprendieron, la generación de la base datos, que consta de la ubicación de información disponible y la elaboración de mapas de disponibilidad con el fin conocer la distribución de dicha información; la generación del marco biocronoestratigráfico, con la finalidad de homologar las columnas biocronoestratigráficas existentes en el Bloque Junín, partiendo de la recopilación, revisión e interpretación de la información bioestratigráfica disponible, estableciendo a través de ello rangos de edades del Cretácico y por último, el análisis estratigráfico secuencial, realizado a partir de secciones estratigráficas y estructurales, por medio de las cuales se lograron identificar dos discordancias regionales (SB) y tres superficies de máxima inundación (MFS), interpretando tres secuencias de orden menor definidas como S1, S2, y S3, permitiendo de esta manera, realizar mapas paleobatimétricos a nivel del intervalo estudiado con el objetivo de comprender y describir el comportamiento lateral de los sistemas depositacionales presentes. Este trabajo contribuirá en la definición del modelo geológico del Bloque Junín y espera disminuir la incertidumbre del comportamiento del Cretácico en la zona.

CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| ACTA DE APROBACIÓN..... | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| RESUMEN..... | v |
| CONTENIDO | vi |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE TABLAS | xv |
| LISTA DE APÉNDICES | xvi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 4 |
| SITUACIÓN A INVESTIGAR | 4 |
| 2.1 Planteamiento del problema..... | 4 |
| 2.2 Objetivos de la investigación | 5 |
| 2.2.1 Objetivo general | 5 |
| 2.2.2 Objetivos específicos | 5 |
| 2.3 Justificación de la investigación..... | 6 |
| 2.4 Alcance de la investigación..... | 7 |
| 2.5 Limitaciones de la investigación..... | 7 |
| CAPÍTULO II | 8 |
| GENERALIDADES | 8 |
| 2.1 Ubicación del área de estudio | 8 |
| 2.2.1 Cuenca oriental de Venezuela..... | 9 |
| 2.2.2 Evolución de la cuenca oriental de Venezuela..... | 10 |

| | |
|--|----|
| 2.2.3 Subcuenca de Guárico..... | 11 |
| 2.2.4 Graben de espino..... | 13 |
| 2.2.5 Falla de Altamira y Falla de Aníbal..... | 14 |
| 2.3 Geología local..... | 15 |
| 2.3.1 Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías..... | 15 |
| 2.3.2 Litoestratigrafía del bloque Junín..... | 16 |
| CAPITULO III..... | 25 |
| MARCO TEÓRICO..... | 25 |
| 3.1 Antecedentes de la investigación..... | 25 |
| 3.2 Bases teóricas..... | 31 |
| 3.2.1 Ciclo de Wilson..... | 31 |
| 3.2.2 Estratigrafía secuencial..... | 33 |
| 3.2.3 Modelo de secuencias depositacionales..... | 34 |
| 3.2.4 Secuencia depositacional I..... | 36 |
| 3.2.6 Modelo de secuencias genéticas..... | 37 |
| 3.2.7 Modelo de secuencia Transgresivo-Regresivo (T-R)..... | 38 |
| 3.2.8 Modelo de secuencia Regresivo- Transgresivo (R-T)..... | 39 |
| 3.2.9 Patrones de apilamiento estratigráfico..... | 41 |
| 3.2.10 Sistema depositacional transicional..... | 42 |
| 3.2.11 Sistema depositacional marino..... | 43 |
| 3.2.12 Superficies estratigráficas..... | 43 |
| 3.2.13 Tectonosecuencia..... | 45 |
| 3.2.14 Unidades estratigráficas y depositacionales..... | 45 |
| 3.3 Términos básicos..... | 48 |
| 3.3.1 Acomodación de sedimentos..... | 48 |

| | |
|--|----|
| 3.3.2 Aporte de sedimentos..... | 48 |
| 3.3.3 Batimetría..... | 49 |
| 3.3.4 Bioestratigrafía..... | 50 |
| 3.3.5 Biohorizontes y biozonas | 50 |
| 3.3.6 Clasificación de los sistemas sedimentarios principales..... | 52 |
| 3.3.7 Clasificación por profundidad de los ambientes marinos | 56 |
| 3.3.8 Correlación..... | 58 |
| 3.3.9 Cronoestratigrafía..... | 59 |
| 3.3.10 Discontinuidad | 59 |
| 3.3.11 Discordancia..... | 59 |
| 3.3.12 Estratigrafía | 60 |
| 3.3.13 Eustasismo | 60 |
| 3.3.14 <i>Facies</i> | 62 |
| 3.3.15 Formación | 62 |
| 3.3.16 Grupo | 63 |
| 3.3.17 Inconformidad | 63 |
| 3.3.18 Litoestratigrafía | 64 |
| 3.3.19 Miembro..... | 64 |
| 3.3.20 Nivel base..... | 64 |
| 3.3.21 Paleobatimetría..... | 66 |
| 3.3.22 Paracoformidad | 66 |
| 3.3.23 Parasecuencia | 67 |
| 3.3.24 Sedimentología..... | 68 |
| 3.3.25 Sistemas encadenados (systemtracks)..... | 68 |
| 3.3.26 Unidad diacrónica | 69 |

| | |
|--|----|
| 3.3.27 Unidad geocronológica | 69 |
| 3.3.28 Unidad litodémica | 69 |
| CAPITULO IV | 71 |
| METODOLOGÍA | 71 |
| 4.1 Tipo de investigación | 71 |
| 4.2 Diseño de investigación | 72 |
| 4.3 Población de la investigación | 72 |
| 4.4 Muestra de la investigación..... | 73 |
| 4.5 Técnicas de recolección de datos | 73 |
| 4.5.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 73 |
| 4.5.2 Revisión bibliográfica | 73 |
| 4.5.3 Entrevista informal..... | 74 |
| 4.5.4 Instrumentos de recolección de datos | 74 |
| 4.6 Flujograma de trabajo | 75 |
| 4.7 Base de datos..... | 76 |
| 4.7.1 Recopilación y revisión bibliográfica | 77 |
| 4.7.2 Datos de pozo..... | 77 |
| 4.7.3 Datos bioestratigráficos..... | 78 |
| 4.7.4 Datos sedimentológicos | 81 |
| 4.7.5 Datos de perfiles eléctricos | 82 |
| 4.8 Marco biocronoestratigráfico | 84 |
| 4.8.1 Selección de pozos | 84 |
| 4.8.2 Datación de Rangos estratigráfico | 85 |
| 4.8.3 Calidad del dato bioestratigráfico | 90 |
| 4.8.4 Cronoestratigrafía del área | 92 |

| | |
|---|-----|
| 4.9 Análisis estratigráfico secuencial | 92 |
| 4.9.1. Definición de transectos | 93 |
| 4.9.2 Evidencias estratigráficas | 95 |
| 4.9.3 Interpretación de superficies claves | 101 |
| 4.10 Interpretación de la distribución lateral de los sistemas depositacionales Cretácicos | 104 |
| CAPÍTULO V | 106 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS | 106 |
| 5.1 Marco biocronoestratigráfico | 106 |
| 5.1.1 Interpretación de rangos estratigráficos | 106 |
| 5.1.2 Cronoestratigrafía del área | 106 |
| 5.1.3 Nivel de Confianza de los datos bioestratigráficos | 112 |
| 5.2 Análisis estratigráfico secuencial | 117 |
| 5.2.1 Unidad depositacional II (UDII) | 120 |
| CONCLUSIONES | 132 |
| RECOMENDACIONES | 134 |
| REFERENCIAS | 135 |
| APÉNDICES | 140 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| 2. 1 Ubicación del Área Junín en la Faja Petrolífera del Orinoco..... | 8 |
| 2. 2 Ubicación de la Subcuenca de Guárico (SCHLUMBERGER, 1997)..... | 12 |
| 2. 3 Ubicación relativa del Graben de Espino y fallas superpuestas (Meneven, 1983). | 14 |
| 2. 4 Ubicación de la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías | 16 |
| 3. 1 Ubicación del área de estudio, Faja Petrolífera del Orinoco (Proyecto Magna Reserva 2013)..... | 26 |
| 3. 2 Transectos Sísmicos Master y Complementarios seleccionados para el análisis de la subcuenca de Guárico. (Parra <i>et al.</i> , 2018)..... | 27 |
| 3. 3 Ubicación geográfica del área FPO Dominio Oriental en rojo (División Carabobo - División Ayacucho). (Alvarez., 2013) | 29 |
| 3. 4 Perfil tipo del Área Boyacá y Junín, resaltando las divisiones de la secuencia Cretácico. (Berrios <i>et al.</i> , 2017)..... | 30 |
| 3. 5 Ubicación del área de estudio, área Boyacá, Junín y parte Oeste de Ayacucho. (Cabrera <i>et al.</i> , 2019). | 31 |
| 3. 6 Árbol genealógico de estratigrafía de secuencia (modificado de Donovan, 2001). (Tomado de Catuneanu 2010)..... | 36 |
| 3. 7 Sistema encadenado de Alto nivel. (Modificado de Posamentier y Vail, 1988). | 53 |
| 3. 8 Sistema transgresivo (Modificado de Posamentier y Vail, 1988)..... | 55 |
| 3. 9 Sistema encadenado de bajo nivel. (Modificado de Posamentier y Vail, 1988) | 55 |
| 3. 10 Gráfica de la distribución de Ambientes marinos en función de la profundidad. (Griem, 1998) | 58 |
| 3. 11 Las discontinuidades estratigráficas. Discordancia. (Durán, J., 2018) | 60 |
| 3. 12 Eustatismo, nivel relativo del mar, y la profundidad del agua como una función del nivel del mar, fondo del mar. (Modificado de Catuneanu, 2011). | 62 |
| 3. 13 Las discontinuidades estratigráficas. Inconformidad. (Durán, J., 2018)..... | 63 |
| 3. 14 Cambio en el nivel base. (Embry, 2009)..... | 65 |

| | |
|---|-----|
| 3. 15 Las discontinuidades estratigráficas. Paraconformidad. (Durán, J., 2018).. | 67 |
| 4. 1 Flujograma de la metodología empleada durante el desarrollo de la investigación..... | 76 |
| 4. 2 Pozos iniciales..... | 78 |
| 4. 3 Mapa de datos bioestratigráficos realizados en estudios previos..... | 80 |
| 4. 4 Mapa de disponibilidad de estudios bioestratigráficos. | 80 |
| 4. 5 Mapa de disponibilidad de estudios sedimentológicos..... | 81 |
| 4. 6 Mapa de disponibilidad de muestras..... | 82 |
| 4. 7 Curvas disponibles del pozo PZ 73..... | 83 |
| 4. 8 Mapa de disponibilidad de registros de pozos. | 84 |
| 4. 9 Pozos seleccionados para el marco bioestratigráfico. | 85 |
| 4. 10 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 73 realizado por Cabrera <i>et al.</i> , 2019. | 86 |
| 4. 11 Ejemplo de la validación de edades del pozo PZ 30 a partir de su resumen bioestratigráfico..... | 87 |
| 4. 12 Ejemplo de la magnetocronología de selectos Palinomorfos (Polen y Esporas) del Cretácico (Muller <i>et al.</i> , 1987 en Sánchez, D., 2015)..... | 88 |
| 4. 13 Ejemplo de la base de datos de palinomorfos recopilada por Helenes, 2014. | 89 |
| 4. 14 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 73. | 90 |
| 4. 15 Matriz de calidad del dato Bioestratigráfico. | 91 |
| 4. 16 Aplicación de la matriz de calidad del dato bioestratigráfico. | 92 |
| 4. 17 Mapa de transectos del área de estudio..... | 94 |
| 4. 18 Evidencias estratigráficas del pozo PZ-5X realizadas por Parra <i>et al.</i> , 2018. | 96 |
| 4. 19 Comparación de profundidades interpretadas por Parra <i>et al.</i> , 2018 y Berrios <i>et al.</i> , 2018 para el pozo PZ 73. | 98 |
| 4. 20 Correlación estratigráfica con las superficies interpretadas en los pozos: PZ 90, PZ 73 y PZ-1X. | 100 |
| 4. 21 Evidencias estratigráficas del pozo PZ 73 a partir de las correlaciones realizadas..... | 100 |

| | |
|--|-----|
| 4. 22 Clasificación de paleobatimétrica en base a foraminíferos bentónicos de datum levels. | 103 |
| 5. 1 Mapa de columnas cronoestratigráficas del Bloque Junín..... | 107 |
| 5. 2 Registro tipo del área 1. | 108 |
| 5. 3 Registro tipo del área 2. | 109 |
| 5. 4 Registro tipo del área 3. | 109 |
| 5. 5 Registro tipo del área 4. | 110 |
| 5. 6 Mapa de calidad del dato Bioestratigráfico, rango Aptiense-Cenomaniense | 114 |
| 5. 7 Mapa de calidad del dato Bioestratigráfico, rango Coniaciense-Santoniense. | 115 |
| 5. 8 Mapa de calidad del dato bioestratigráfico, rango Coniaciense-Maastrichtiense. | 116 |
| 5. 9 Mapa de calidad del dato bioestratigráfico, edad Maastrichtiense | 117 |
| 5. 10 Cuadro Tectonoestratigráfico de la Subcuenca de Guárico realizado por Parra <i>et al.</i> , 2018. | 119 |
| 5. 11 Transecto estratigráfico E-E'. | 122 |
| 5. 12 Marco Tectonoestratigráfico del Bloque Junín. | 124 |
| 5. 13 Transecto estructural D-D' (segmento modificado del transecto Máster M2-ESP Subcuenca de Guárico, Parra <i>et al.</i> , 2018.) | 125 |
| 5. 14 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento B-B' a nivel de la MFS_UDII_88.9Ma, Santoniense-Coniaciense. | 129 |
| 5. 15 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento A-A' a nivel de la MFS_UDII_88.9Ma, Santoniense-Coniaciense. | 129 |
| 5. 16 Transecto estratigráfico A-A'. | 128 |
| 5. 17 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento A-A' a nivel del Cenomaniense. | 126 |
| 5. 18 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento B-B' a nivel del Cenomaniense. | 127 |
| 5. 19 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento A-A' a nivel del Maastrichtiense..... | 130 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| 5. 20 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento B-B' a nivel del Maastrichtiense..... | 130 |
| 5. 21 Evidencias estratigráficas del pozo PZ 59 a partir de las correlaciones realizadas..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5. 22 Transecto estratigráfico B-B'..... | 131 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---------------------|-----|
| 5. 1 Espesores..... | 123 |
|---------------------|-----|

LISTA DE APÉNDICES

| | | |
|----------|--|-----|
| A | REVISIÓN DEL MARCO ESTRATIGRÁFICO DEL BLOQUE JUNÍN ESTABLECIDO POR BERRIOS <i>et al.</i>, 2017 | 143 |
| | A.1 Calibración de edades a partir de la cronoestratigrafía del área presentada por Berrios <i>et al.</i> , 2017 y las secuencias establecidas por Parra <i>et al.</i> , 2018..... | 144 |
| B | RESUMEN BIOESTRATIGRÁFICO DE LOS POZOS... | 148 |
| | B.1 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 71..... | 149 |
| | B.2 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 72..... | 149 |
| | B.3 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 59..... | 149 |
| | B.4 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 60..... | 150 |
| | B.5 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 49..... | 150 |
| | B.6 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 53..... | 150 |
| | B.7 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 61..... | 151 |
| | B.8 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 58..... | 151 |
| | B.9 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 17..... | 151 |
| | B.10 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 50..... | 152 |
| | B.11 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 47..... | 152 |
| | B.12 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 44..... | 152 |
| | B.13 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 21..... | 152 |
| | B.14 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 30..... | 153 |
| | B.15 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 27..... | 153 |
| | B.16 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 29..... | 153 |
| | B.17 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 31..... | 154 |
| | B.18 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 76..... | 154 |
| | B.19 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 73..... | 154 |
| | B.20 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 76..... | 155 |

INTRODUCCIÓN

La Cuenca Oriental de Venezuela se encuentra la zona Centro-Este de Venezuela formando una depresión topográfica y estructural, limitada al sur por el curso del río Orinoco desde la desembocadura del río Arauca hacia el este hasta Boca Grande, al Oeste por el levantamiento de El Baúl y su conexión estructural con el mencionado Cratón. Hacia el Este la cuenca continúa por debajo del Golfo de Paria, incluyendo la parte situada al Sur de la Cordillera Septentrional de la Isla de Trinidad y se hunde en el Atlántico al Este de la costa del Delta del Orinoco. En la parte Sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, en los estados de Guárico y Anzoátegui se encuentra el Bloque Junín perteneciente a la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías, siendo parte de la Subcuenca de Guárico y área de estudio de este trabajo de investigación, en el cual se analizará la distribución de los sistemas depositacionales Cretácicos con la finalidad de contribuir al modelo geológico de la zona.

Autores como: por Parra *et al.*, (2018), Alviarez *et al.*, (2013), Berrios *et al.*,(2017), Cabrera *et al.*, (2019), entre otros, han realizado hasta la fecha múltiples estudios tanto a nivel regional como a nivel local, en distintas zonas de la Subcuenca de Guárico, llegando a proponer distintos modelos geológicos de acuerdo a las diferentes escalas de cada estudio y a las características estructurales de cada zona, este trabajo de investigación se plantea con la idea de comprender el comportamiento depositacional y estructural del Cretácico en el Bloque Junín mediante un análisis de las interpretaciones de realizadas por los autores ya mencionados.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es realizar un análisis Estratigráfico Secuencial a nivel del Cretácico (Maastrichtiense- Albiense) en el Bloque Junín, de la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías, haciendo uso de la metodología desarrollada en Santiago *et al.*, (2015), partiendo de la

unificación del dato bioestratigráfico, análisis de patrones de apilamiento en los registros de pozos y la interpretación de secciones estructurales y estratigráficas.

El estudio de los sistemas depositacionales se dividió en cinco capítulos que serán estructurados de la siguiente forma:

En el Capítulo I, se señalan los fundamentos del trabajo a realizar, teniendo como base el planteamiento realizado por la Gerencia de PDVSA Exploración, el cual señala la necesidad de realizar el análisis de los sistemas depositacionales cretácicos del área con la finalidad de contribuir en la posterior elaboración del modelo geológico que generará el Proyecto Cretácico, el cual se encuentra actualmente en fase de anteproyecto.

En el capítulo II, se indican aspectos generales del área de estudio, como ubicación, área de influencia, así como aspectos relacionados con la geología regional de la Cuenca Oriental de Venezuela y Subcuenca de Guárico, de igual forma se definen aspectos geológicos locales de la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez y del Bloque Junín.

En el Capítulo III, se establece el marco teórico de la investigación, proporcionando información y datos que fueron necesarios para el desarrollo del mismo, así como el análisis de estudios previos realizados en la zona.

En el Capítulo IV, indica de forma detallada la metodología empleada al momento de realizar el análisis estratigráfico secuencial, los cuales fueron desarrollados en base a la metodología de Santiago *et al.*, (2015), indicando la disponibilidad de datos necesarios para la realización del análisis, dichos datos fueron bioestratigráficos, sedimentológicos y de registros eléctricos. De igual forma se describe detalladamente cada uno de los pasos realizados en el transcurso de la investigación, desde la generación del marco biocronoestratigráfico de la zona de estudio, la realización de secciones

estratigráficas y estructurales para el análisis secuencial de pozos, hasta la interpretación de superficies claves.

En el Capítulo V, se presentan los análisis de resultados, partiendo de los resúmenes y rangos bioestratigráficos definidos en la zona, así como la identificación de discordancias regionales (SB) y superficies de máxima inundación (MFS) mediante el análisis secuencial de secciones estratigráficas y estructurales, a partir de las cuales se definieron y establecieron tres secuencias de orden menor en el Cretácico que varían lateralmente en el área de estudio y son descritas en dicho capítulo.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas con base en los análisis realizados.

Como resultados más resaltantes se tiene que la metodología empleada permitió homologar la bioestratigrafía del Bloque Junín y establecer cuatro áreas con sus columnas cronoestratigráficas; de igual forma, se identificaron cinco superficies estratigráficas claves en el Cretácico del Bloque Junín a partir de las cuales se generaron tres Secuencias Estratigráficas de Tercer Orden y se estableció un cuadro tectonoestratigráfico del Bloque Junín que servirá de base para futuros proyectos exploratorios en la zona.

Adicionalmente, el análisis de las secuencias y paleobatimetría establece que el área de estudio se divide en dos sistemas deposicionales (Continental y Fluvial Deltáico), separados por un MFS_88.9 Ma, el cual es de extensión regional. Se determinó también que la Secuencia S1 representa el registro estratigráfico más antiguo dentro de un paleoambiente Continental conformado por sedimentos provenientes del Cámbrico (Sureste) y Cratón de Guayana (Sur).

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

2.1 Planteamiento del problema

La Gerencia de Proyectos de Exploración y Delineación, perteneciente a la Dirección Ejecutiva de Exploración y Estudios Integrados de Yacimientos (DEXEIIY), ha propuesto ejecutar el Proyecto Cretácico, cuya finalidad es determinar el potencial hidrocarburífero (pesado y extra pesado) de las arenas Cretácicas, en función de su mejor movilidad relativa en la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías, dentro de la Cuenca Oriental de Venezuela.

En vista de que el proyecto se encuentra en fase de anteproyecto, y de que el Bloque Junín no dispone de un análisis secuencial que integre los distintos enfoques empleados en estudios previos, este Trabajo de Grado plantea analizar la distribución lateral de los Sistemas Deposicionales en las Secuencias Estratigráficas de interés petrolífero, aplicando la metodología de trabajo establecida en Santiago *et al.*,(2015), para realizar las correlaciones laterales de dichos sistemas a nivel regional; todo ello con el fin de homologar las líneas de tiempo para posteriormente analizar los sistemas depositacionales en los transectos establecidos en el área.

De igual forma, dicho estudio contribuirá a la integración de las interpretaciones estratigráficas del Modelo Secuencial Regional y Local en la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías, a la disminución de la incertidumbre geológica en futuras actividades exploratorias y a la toma de decisiones en la exploración petrolera de dicha área.

En tal sentido, se realizó una revisión de los trabajos previos elaborados hasta la fecha en el área de estudio, tanto a nivel regional (áreas de la Subcuenca de Guárico), como a nivel local (Bloque Junín), dentro de los cuales destacan los realizados por Parra *et al.*, (2018), Alviarez *et al.*, (2013), Berrios *et al.*, (2017), Cabrera *et al.*, (2019), entre otros.

Dicha revisión permitió modificar y ajustar el rango de edad del Cretácico del presente estudio a: Maastrichtiense- Albiense, mediante el análisis de los datos aportados por estudios previos.

De igual manera se logró determinar una serie de discrepancias en los marcos tectonoestratigráficos que estos autores proponen, tales como: diferencias en relación a la cantidad de Secuencias Estratigráficas definidas y sus edades respectivas, así como el número de Discontinuidades Estratigráficas presentes y su duración, las cuales son los principales puntos de atención que serán revisados en el análisis del área.

2.2 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Realizar un análisis Estratigráfico Secuencial del intervalo Cretácico (Maastrichtiense- Albiense) en el Bloque Junín, de la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías, estado Anzoátegui, Venezuela.

2.2.2 Objetivos específicos

1. Establecer el marco biocronoestratigráfico a nivel del Cretácico del bloque Junín, a partir de los rasgos estratigráficos y los marcadores bioestratigráficos.

2. Definir la estratigrafía del bloque Junín, elaborando columnas estratigráficas, a partir de datos bioestratigráficos.
3. Establecer secuencias estratigráficas a partir de la identificación de superficies claves en el Cretácico del bloque Junín.
4. Realizar el análisis estratigráfico secuencial del Cretácico en bloque Junín, interpretando el comportamiento lateral, distribución y espesores.
5. Interpretar la paleografía del Cretáceo en el bloque Junín, elaborando mapa paleogeográficos y perfiles paleobatimétricos.
6. Identificar los sistemas depositacionales en el área a partir de la interpretación de la biocronoestratigrafía, el análisis de secuencias y paleobatimetría.

2.3 Justificación de la investigación

La Gerencia de Proyectos Exploratorios y de Delineación es la encargada de impulsar y desarrollar proyectos exploratorios a nivel nacional, realizando estudios multidisciplinarios, con el objetivo de aplicar una metodología de análisis de cuenca y su distribución de los elementos del sistema petrolífero (Roca Madre, Roca Sello y Reservorio) a fin de visualizar y documentar oportunidades exploratorias. Por tal motivo, surge el Proyecto Cretácico, Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías, con el objetivo de determinar el potencial hidrocarburiífero (pesado y extra pesado) de las arenas Cretácicas, en función de su mejor movilidad relativa, así como caracterizar la potencialidad y extensión de los yacimientos descubiertos en la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías, Cuenca Oriental de Venezuela.

En tal sentido, dicho proyecto plantea la realización de este Trabajo de Grado en el Área Junín, perteneciente a la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías, con la finalidad de contribuir en la definición del marco tectonoestratigráfico para la posterior evaluación y predicción de oportunidades exploratorias en el área de estudio del proyecto, fortaleciendo la base de recursos.

Los resultados obtenidos en este trabajo de grado serán utilizados para establecer a corto plazo las correlaciones laterales de las Secuencias Estratigráficas y el análisis de los sistemas depositacionales en el Bloque Junín, contribuyendo de esta forma a la documentación técnica del modelo geológico local.

2.4 Alcance de la investigación

Generar un Modelo Estratigráfico secuencial en el Bloque Junín, intervalo Cretácico (Maastrichtiense-Albiense), a partir de la integración de datos bioestratigráficos, sedimentológicos, y estructurales, que sea base para futuros planes de Exploración y Explotación de la zona.

2.5 Limitaciones de la investigación

El acceso a información sedimentológica en el área es escaso. Por tal motivo, la distribución del dato sedimentológico a utilizar en este estudio estará basado por el Marco estratigráfico regional de la Subcuenca de Guárico, ejecutado por Parra *et al.*, 2018 y a nivel local referido al Marco estratigráfico establecido en “Oportunidades tempranas en el Cretácico de la FPO” por Berrios *et al.*, 2019.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación del área de estudio

El Bloque Junín, perteneciente a la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Rafael Chávez Frías se encuentra ubicado en la parte sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, en los estados de Guárico y Anzoátegui (Figura 2.1). Tiene aproximadamente 200 kilómetros (124 millas) de largo y 50 kilómetros (31 millas) de ancho, y cubre un área de aproximadamente 10,000 kilómetros cuadrados (3,861 millas cuadradas). El área está delimitada al oeste por el Bloque Boyacá, al este con el Bloque Ayacucho y al sur con el río Orinoco.

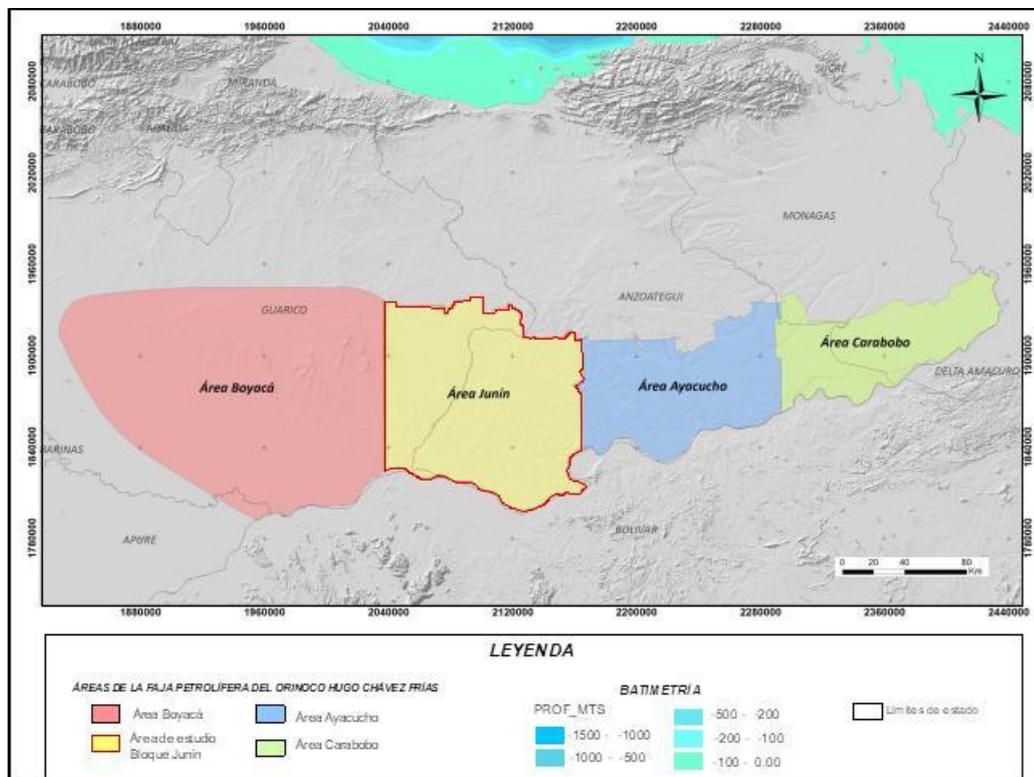


Figura 2. 1 Ubicación del Área Junín en la Faja Petrolífera del Orinoco

2.2 Geología regional

2.2.1 Cuenca oriental de Venezuela

Según González de Juana, C *et al.*, (1980), en su publicación “Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas” ubican a la Cuenca Oriental de Venezuela en “la zona centro-este de Venezuela formando una depresión topográfica y estructural, limitada al sur por el curso del río Orinoco desde la desembocadura del río Arauca hacia el este hasta Boca Grande, siguiendo de modo aproximado el borde septentrional del Cratón de Guayana; al oeste por el levantamiento de El Baúl y su conexión estructural con el mencionado cratón, que sigue aproximadamente el curso de los ríos Portuguesa y Pao y al norte, por la línea que demarca el piedemonte meridional de la Serranía del Interior Central y Oriental. Hacia el este la cuenca continua por debajo del Golfo de Paria, incluyendo la parte situada al sur de la cordillera Septentrional de la isla de Trinidad y se hunde en el Atlántico al este de la costa del Delta del Orinoco.

En Venezuela esta depresión tiene una longitud aproximada de 800 km en sentido oeste-este, una anchura promedio de 200 km de norte a sur y un área total aproximada de 165.000 km² en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y en el Territorio Delta Amacuro y una extensión menor en el estado Sucre. La cuenca actual es asimétrica, con su flanco sur ligeramente inclinado hacia el norte y un flanco norte más tectonizado y con mayores buzamientos, conectado a la zona plegada y fallada que constituye el flanco meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el norte. Se ha obtenido producción de petróleo de ambos flancos de la cuenca, bajo condiciones estratigráficas y estructurales diferentes (González de Juana, C. *et al.*, 1980).

El espesor de las columnas sedimentarias terciarias varía desde pocos centenares de metros en los bordes meridional y occidental, hasta 6 y 8 km en las

partes profundas de la cuenca. Toda ella presenta un suave declive hacia el este, de forma que en la parte meridional de Trinidad el espesor de sedimentación terciaria excede 10-12 km. El volumen total de sedimentos terciarios se estima en alrededor de medio millón de kilómetros cúbicos (González de Juana, C. *et al.*, 1980).

Por su contenido de recursos de hidrocarburos es la segunda cuenca en magnitud de América del Sur, sólo sobrepasada por la Cuenca del Lago de Maracaibo.

2.2.2 Evolución de la cuenca oriental de Venezuela

González de Juana, C *et al.*,(1980) establecen que en función de la condición propias de la cuenca Oriental venezolana el “desarrollo petrolífero de la Cuenca Oriental de Venezuela pudiera considerarse como un evento puramente del Terciario, es necesario remontarse más atrás en su historia geológica para comprender el origen y la razón de toda su evolución”. Sin embargo González de Juana, C *et al.*, (1980), no descarta totalmente la potencialidad de este periodo geológico, ni aún del Paleozoico, en las posibilidades petrolíferas futuras.

La evolución de esta cuenca es relativamente simple, por haber estado desde el Paleozoico apoyada sobre el borde estable del Cratón de Guayana. Suaves movimientos de levantamiento y hundimiento de este borde ocasionaron transgresiones y regresiones extensas, que fueron de gran importancia para el desarrollo final de la cuenca. Por consiguiente, aunque la Cuenca Oriental de Venezuela no mostró una forma similar a la actual sino después del Eoceno Superior ni alcanzó su forma definitiva hasta el Mioceno Inferior (± 20 Ma.), su prehistoria se sitúa en el Devónico-Carbonífero, hace unos 350 millones de años. Durante este largo período de tiempo se reconocen tres ciclos sedimentarios separados: el primero corresponde al Paleozoico Medio-Superior y Superior, el segundo comienza durante el Cretácico Medio y se hace regresivo durante el

Terciario Inferior y el tercero se desarrolló durante el Terciario Superior y fue definitivo para la configuración de la cuenca petrolífera en su estado actual (González de Juana, C. *et al.*, 1980).

2.2.3 Subcuenca de Guárico

La Subcuenca de Guárico tiene 49.895 Km² de extensión y contiene un máximo de 11.000 m. de sedimentos del Cretácico y post-Cretácico. Limita al norte con la Faja Piemontina de la Cordillera del Caribe, al sur con el Escudo de Guayana, al oeste con el Arco de El Baúl y al este con la Subcuenca de Maturín (Figura 2.2), de la cual está separada arbitrariamente por el Arco de Úrica (Kiser, 1992 en Parra *et al.*, 2018)

Morfológicamente es una cuenca asimétrica, con el flanco norte sobrecorrido por terrenos alóctonos compuestos principalmente por sedimentos y rocas metamórficas del Mesozoico, Paleoceno y Eoceno de la Cordillera del Caribe. Su eje estructural actual está cubierto por los corrimientos del norte del estado Guárico y su rumbo varía de noroeste – sureste en el Cretácico y norte – sur en el Mioceno (Kiser, 1992 en Parra *et al.*, 2018).

Desde el punto de vista exploratorio, esta subcuenca presenta un nivel de madurez variable, que ha sido definida según el número de pozos y de líneas sísmicas presentes en una cuadrícula de 30 km por 30 km (Figura 2.2). Hacia la parte central del estado Anzoátegui y noreste del estado Guárico, esta subcuenca presenta una madurez exploratoria alta, mientras que el resto de las áreas adyacentes (norte del estado Anzoátegui, noroeste del estado Guárico, y los estados Aragua, Cojedes y Portuguesa) poseen una madurez exploratoria moderada a baja (inmadura). (Parra *et al.*, 2018).



Figura 2. 2 Ubicación de la Subcuenca de Guárico (Luna, H., 2015).

Las principales rocas reservorios y la calidad de los hidrocarburos encontrados en esta subcuenca varían dependiendo de la ubicación geográfica. Hacia la parte central del estado Anzoátegui (campos del Área Mayor de Anaco y Oficina), los principales yacimientos de petróleo y gas se encuentran presentes en las formaciones Oficina y Merecure de edad Mioceno-Oligoceno, la Formación San Juan y el Grupo Temblador de edad Cretácico. Los crudos producidos son variables: condensados (campos Los Mangos, San Joaquín, Santa Ana, Santa Rosa, Soto Norte, Acema A, El Roble, El Toco, Guere, Boca, etc.), livianos (campos Mapiri, Aguasay, Guarico 10-13, Esquina, Elotes, Caracoles, Zapata, Nardo, Chimire, Kaki, Soto, La Ceibita, Zulos, Budare, etc.), medianos (campos Oficina Central, Limón, Yopales, Nipa, Mata, Oscurote, etc) y pesados (campos Melones, Nardo, Socororo, Migas, Oveja, Dación, Ostra, etc). Hacia el noreste del estado Guárico (campos Yucal-Placer, Área Mayor de Las Mercedes y Sabán-Tucupido), los principales intervalos productores de petróleo y gas se encuentran presentes en las formaciones Chaguaramas, Roblecito y La Pascua de edad Eoceno Tardío-Mioceno, y la Formación Tigre del Grupo Temblador de edad Cretácico. La gravedad de los crudos producidos son variables: condensados (campos Jobal, Zurón, Copa Macoya, etc.), livianos a medianos (campos Las Mercedes, Palacio, Rosita, Ruiz, Sabán, Tucupido, Zurón, Grico, Coporo, etc.) y

pesados (campos Palacio, Bella Vista, etc.). Hacia el sur de los estados Guárico y Anzoátegui (áreas de Boyacá, Junín y Ayacucho), los principales yacimientos de petróleo están contenidos en las formaciones Oficina y Merecure de edad Mioceno-Oligoceno y el Grupo Temblador de edad Cretácico. Los fluidos son clasificados como crudos extra pesados con gravedades °API entre 4 y 10, y con una alta biodegradación (Parra *et al.*, 2018).

Los sellos lutíticos más importantes en esta subcuenca se encuentran dentro de las mismas unidades litoestratigráficas que contienen los reservorios, tales como: formaciones Roblecito, Chaguaramas y Oficina, y el Grupo Temblador. Las trampas son del tipo estructural (fallas extensionales), estratigráficas (canales) y combinadas (Chigné *et al.*, 1999 en Parra *et al.*, 2018)

Hasta el momento, se han perforado alrededor de 18.626 pozos en esta subcuenca, de los cuales 8.000 son exploratorios, 9.598 son productores y 1.028 no poseen clasificación asignada (según la base de datos corporativa Finder). De igual manera, se han descubierto un total de 249 campos, de los cuales 87 son de gas y 162 son de petróleo. Cabe destacar, que 30 campos de los que producen petróleo se encuentran dentro de la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías (áreas de Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo). (Parra *et al.*, 2018)

2.2.4 Graben de espino

El Graben de Espino se localiza en los Estados Anzoátegui y Guárico del Oriente de Venezuela. En la Figura 2.3 se muestran las principales estructuras que definen al Graben de Espino, el cual está limitado hacia el norte por la Falla de Úrica, una falla transcurrete con desplazamiento derecho que se localiza sobre el borde SE de la Serranía del Interior. El Graben de Espino está definido hacia el NW por una serie de fallas normales de rumbo ENE con caída hacia el SE, entre las cuales destaca la Falla Guama Sabana. Hacia el sur, el límite del graben está definido por una serie de fallas normales de rumbo ENE con caída hacia el NW,

entre las cuales destacan la Falla de Altamira y la Falla de Anaco. La distancia entre las estructuras que definen el Graben sugiere que la extensión ha sido mayor en su porción NE. (García J., 2007).

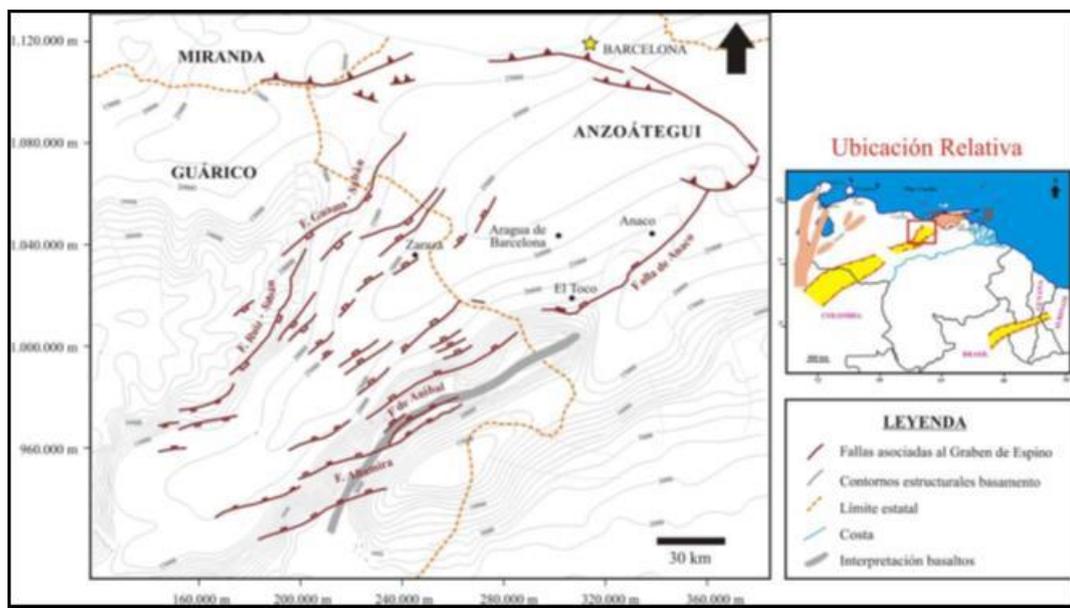


Figura 2. 3 Ubicación relativa del Graben de Espino y fallas superpuestas (Meneven, 1983).

2.2.5 Falla de Altamira y Falla de Aníbal

Son fallas normales de ruptura de basamento, orientadas $N60^{\circ}E$ y con el lado deprimido hacia el noroeste (Choppin *et al.*, 1989 en Salazar, M., 2006). Este sistema de fallas “en echelon” conforma el borde meridional del Graben de Espino y estuvo muy activo durante el Mesozoico; su desplazamiento vertical disminuye hacia el Terciario inferior (Moticska, 1985, en Salazar, M., 2006).

2.3 Geología local

2.3.1 Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías

La Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías representa el borde meridional extremo de la Cuenca de Venezuela Oriental. Limitando a las columnas sedimentarias de reconocida potencialidad petrolífera, de edad Cretácico y Terciario Superior, los sedimentos perforados indican ambientes de muy poca profundidad, desarrollados sobre dos penillanuras erosionales ocasionadas durante dos períodos de hiatos, descritos en la región situada cerca del borde septentrional del Cratón de Guayana (Figura 2.4). En esta zona las columnas sedimentarias potencialmente petrolíferas tienen escaso espesor y las profundidades de soterramiento de los horizontes petrolíferos fueron insuficientes desde el momento mismo de su sedimentación (González de Juana, C. *et al.*, 1980).

González de Juana, C. *et al.*, 1980, define el inicio de lo que sería la faja del Orinoco donde la gravedad del petróleo hace que este producto sea menos comercial o más difícil de recuperar por métodos convencionales. Según esta definición cualquier zona situada al sur de la Cuenca de Venezuela Oriental cuyo petróleo no sea más liviano de 15° API está en el borde de la faja y si no excede 12° API está definitivamente dentro de la faja. El límite norte de la faja suele fijarse arbitrariamente al sur de la línea de campos actual, aunque algunos de ello, como Morichal, deberían incluirse en la faja. El límite sur sigue de cerca el curso del Orinoco, porque sólo a 5 km al norte del río se han encontrado secciones petrolíferas satisfactorias. Al este se toma como límite, también arbitrario, el meridiano de Tucupita y al oeste el meridiano de Calabozo, porque más al oeste los estudios no están suficientemente adelantados. Dentro de esta gran extensión de terreno, que excede 40 mil kilómetros cuadrados, se han calculado enormes volúmenes de petróleo in situ que constituyen una reserva energética digna de ser tomada en consideración (González de Juana, C. *et al.*, 1980).

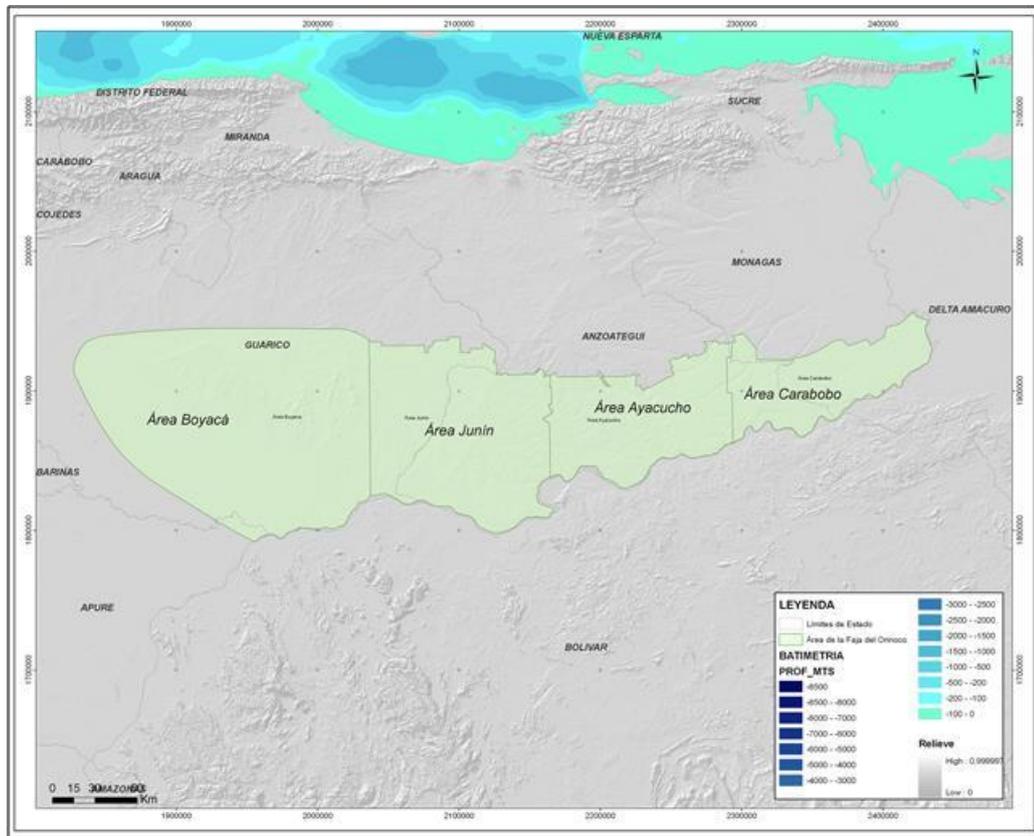


Figura 2. 4 Ubicación de la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías

2.3.2 Litoestratigrafía del bloque Junín

En función de la columna estratigráfica perteneciente al Bloque Junín (Figura 2.5), se describe a continuación la litoestratigrafía del área:

2.3.2.1 Formación Oficina

La formación Oficina se presenta en el subsuelo de todo el flanco sur de la Cuenca de Venezuela Oriental en los Estados Anzoátegui y Monagas; solo aflora en la superficie en los domos de los campos de Santa Ana y San Joaquín. Las Arenas de la formación Oficina constituyen los principales yacimientos de los

extensos Campos petrolíferos en la región de Anaco-Oficina-Temblador. (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

La sección tipo fue designada en el pozo Oficina-1, en el Distrito Freites del estado Anzoátegui. DE SISTO (1960) introdujo cambios en la nomenclatura de la sección columnar publicada por HEDBERG *et al.*,(1947), diferenciando la formación Merecure en la parte basal y señalando los nombres formales de las arenas de esta formación. La unidad es productora de petróleo en numerosos campos que se agrupan en tres zonas distintas, conocidas como Área Mayor de Anaco, Área Mayor de Oficina y Área de Temblador. (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

En términos generales, la Formación Oficina consiste en lutitas y arenas alternantes. Pese a la lenticularidad de las arenas individuales, los grupos de arenas persisten y son correlacionables sobre grandes distancias en base a su expresión en los registros eléctricos. Las Arenas desaparecen con el progresivo desarrollo de las lutitas hacia el eje, pero se multiplican alrededor de la periferia de la cuenca. En la secuencia se intercalan lignitos de amplia extensión, especialmente en el Área Mayor de Oficina.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

El espesor de la Formación Oficina aumenta desde los bordes de la cuenca hacia su eje. En el área de Temblador se conocen espesores de 220 a 275 m; en el Área de Oficina entre 600 m y más de 1400 m; más de 2000 m en Anaco y unos 1000 m en Anzoátegui nororiental.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

El ambiente de sedimentación de la formación oficina es el de un inmenso complejo deltaico descrito por HEDBERG *et al.*,(1947, p. 2118). (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

El contacto inferior de la formación oficina con la formación merecure se considera concordante, pese al cambio litológico en sentido ascendente. El

contacto superior con la Formación Freites es generalmente concordante a pesar de la profundización de ambientes. (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

La Formación Oficina pasa lateralmente a la Formación Carapita por transición directa y a la parte media y superior de la Formación Chaguaramas, que se considera su equivalente en el estado Guárico.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

2.3.2.2 Formación Merecure

La formación Merecure en el sentido moderno es el equivalente lateral arenoso del Grupo Merecure definido en la Serranía del Interior, restringida al subsuelo de la Cuenca de Venezuela Oriental.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

La localidad tipo está en pozos no especificados del campo de Santa Ana en la región de Anaco. Una sección columnar fue ilustrada por FUNKHOUSER *et al.*,(1984), y en ellas se conoce como una unidad fuertemente arenosa en contraste con la Formación Oficina suprayacente.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

La Formación Merecure en el subsuelo de la región de Anaco se caracteriza principalmente por la abundancia de areniscas de grano fino a grueso y espesores en capas masivas mal estratificadas, con estratificación cruzada común y colores gris claro a gris oscuro. La continuidad de las capas de areniscas está interrumpida por láminas y capas delgadas de lutitas negras, duras, carbonosas y por intervalos de arcillitas y limolitas grises. Las areniscas forman casi 50% de la unidad y una característica notable es el crecimiento secundario de sílice sobre los granos de cuarzo. La expresión de la unidad en los registros eléctricos, con picos casi continuos, muestra contraste marcado con los picos discontinuos de la Formación Oficina.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

El espesor máximo perforado es de 1900' (579 m) en el pozo Guárico N° 3 en el Campo San Joaquín. La base no se conoce en este pozo.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

En el contacto de la Formación Merecure sobre el Grupo Temblador no se observa discordancia angular porque la posición estructural de ambas unidades es subparalela, aunque existe entre ellas un bien definido y hiatus. El contacto superior con la formación oficina es de aparente concordancia, pese al marcado cambio litológico a este nivel. Según el L.E.V. II por consideraciones regionales se considera que tanto el tope como la base de la formación se hacen más jóvenes hacia el sur.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

En los registros eléctricos de esta formación (FUNKHOUSER *et al.*, 1948, p. 1872) se observa una serie casi continua de picos; las resistividades generalmente son altas, independientemente del contenido de gas o petróleo y a pesar de que el agua de Merecure es moderadamente salina, se cree que esto es resistividad es son causadas por el carácter de la cementación de las areniscas más bien que por el contenido de fluidos.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

La correlación de registros eléctricos en toda la unidad es frecuentemente indefinida, aún entre pozos cercanos, excepto en los 200' superiores. La distribución de arena y lutita en esta formación parece errática de pozo a pozo, lo cual sugiere que muchos intervalos lo típicos que aparecen en la sección deben tener extensión superficial limitada (González de Juana, C. *et al.*, 1980).

2.3.2.3 Grupo Temblador

Este grupo fue definido originalmente en el subsuelo del Campo de Temblador, específicamente en el pozo Temblador N° 1, para agrupar los sedimentos Cretácicos que se presentan discordantemente entre los depósitos del

Terciario Superior y las rocas ígneas y metamórficas del basamento Precámbrico del Escudo de Guayana.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

Estudios posteriores demostraron que en el campo temblador la parte superior de la sección ha sido erosionada, por lo que sólo aparece la formación inferior. Por tal motivo, aunque el nombre subsiste, la sección tipo adoptada corresponde al pozo Tigre N°1 entre 5836' y 6421' (1778,8 y 1957 m) de profundidad (DUSENBURY, 1960, p. 250).(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

El Grupo Temblador representa toda la sedimentación cretácica conocida en el subsuelo de Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, que descansa discordantemente sobre el flanco norte del escudo de Guayana. Estos sedimentos difieren considerablemente de los conocidos en la Serranía del Interior, depositados en ambientes más abiertos y en general más marinos.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

El Grupo Temblador en la parte sur de Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro se subdivide en dos formaciones, denominadas de más antigua a más joven, Canoa, de ambiente continental y Tigre, de ambiente marino.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

En el subsuelo de Guárico la presencia de una caliza marina, el Miembro Infante, permite subdividir el grupo en las mismas dos formaciones, la segunda de las cuales se subdivide a su vez en tres miembros, a saber: el Miembro La Cruz, de areniscas lenticulares calcáreas, caoliníticas y glauconíticas; el Miembro Infante de calizas, que constituye un marcador de importancia regional y el Miembro Guavinita con lutitas y areniscas marinas.

- Formación Tigre: La formación toma su nombre del pozo Tigre N°1 en el intervalo comprendido entre 5836' y 6117' (1778,8 y 1264,5 m) y se caracteriza por la presencia de areniscas glauconíticas grises a gris

verdosas de grano fino, areniscas gruesas friables, limolitas grises a grises verdosas y lutitas carbonosas y fosfáticas. Intercaladas en la sección hay capas blanquecinas y capas delgadas, duras y con frecuencia fosilíferas y glauconíticas, de caliza dolomítica y dolomía.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

Aunque la edad cretácica está firmemente establecida, su posición exacta es discutible; por correlación con las secciones más fósilíferas de Guárico se presupone que puede alcanzar desde el Albiense superior hasta parte del Maastrichtiense. (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

En el subsuelo de Guárico la Formación Tigre se puede dividir en tres miembros por la presencia de un nivel de calizas; el inferior se denomina Miembro La Cruz, el miembro medio se denomina Miembro Infante y el intervalo suprayacente a la caliza se denomina Miembro Guavinita.(González de Juana, C. *et al.*, 1980)

Formación Canoa: La formación toma su nombre del pozo la Canoa-2 perforado en el sur de Anzoátegui y su sección tipo corresponde al intervalo perforado entre 6117' y 6421' (1264,5 y 1957 m) en el pozo Tigre N° 1. (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

Litológicamente se caracteriza por la presencia de algunos conglomerados de grano fino y areniscas conglomeráticas, areniscas y limolitas, generalmente moreadas con muchas manchas grises, gris verdoso, amarillo, rojo y púrpura. Se encuentran algunos intervalos blanquecinos, pulverulentos e intercalaciones de limolita gris azulada con restos de plantas. En el subsuelo de Guárico consta de lutitas rojas, violetas, verdes y grises, con algunas areniscas moreadas en muchos lugares. (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

Exceptuando restos de plantas no identificadas, no se conocen fósiles en la Formación Canoa. Por su posición discordante sobre la Formación Carrizal en Guárico o sobre basamento ígneo-metamórfico y por su relación transicional con sedimentos marinos fosilíferos de la Formación Tigre, se considera Cretácico Medio sin mejor definición. En el subsuelo de Guárico PATTERSON y WILSON (1953, p. 2711) indican que el contacto entre la Formación Canoa y el miembro de la cruz no representa una línea de tiempo, sino que marca un cambio de facies predominante no marina a facies predominantemente marinas suprayacentes. El espesor de la Formación Canoa varía de cero a varios cientos de metros. La Formación Canoa se correlaciona por equivalencia con algunas de las formaciones del Grupo Sucre y muy posiblemente corresponde a parte del intervalo ocupado por la Formación El Cantil (González de Juana, C. *et al.*, 1980).

2.3.2.4 Formación Ipire

Descripción litológica: Secuencia muy irregularmente alternante de areniscas, arcosas, limolitas, lutitas y ocasionales intercalaciones conglomeráticas, de persistente color marrón rojizo en diferentes tonalidades, con ocasionales horizontes de color gris claro a verdoso. Los estratos arenáceos y arcóscicos, frecuentemente presentan un cemento carbonático (esencialmente dolomítico). El detritus es fino a muy fino, y los granos son angulosos a subangulares y moderadamente mal escogidos. La estratigrafía se caracteriza por su inhomogeneidad y variabilidad vertical y lateral, con estratificación cruzada, rizaduras, con laminaciones lenticulares onduladas, texturas subflaser y otras perturbaciones, debidas a regímenes de corrientes inconsistentes. A corta distancia del tope de esta formación, se halla intercalada una colada lávica de 113 m de espesor. Se trata del Basalto de Altamira, un basalto alcalino de efusión fisuralsubaérea y de carácter continental anorogénico

Edad: Las dataciones radiométricas por el método K/Ar realizadas en roca total del Basalto de Altamira, le confieren las siguientes edades absolutas a la Formación Ipire: 157 ± 5 Ma a 162 ± 8 Ma., lo que corresponde al Jurásico medio-tardío. Esta edad fue corroborada por el estudio de los palinomorfos arriba citados.

Paleoambiente: Los sedimentos inmaduros de la Formación Ipire, son de tipo molásico de relleno de graben continental (Gaben de Altamira). El ambiente sedimentario es fluvial y lacustre, cambiante y efímero, con depositación rápida y continua y escaso transporte.

2.3.2.5 Formación Carrizal

La litología característica de esta unidad presenta argilitas negras a verdosas oscuras, densas y macizas, notablemente homogéneas a pesar de la presencia de intervalos limosos, con intercalaciones locales de arenisca y conglomerados de guijarros.(González de Juana, C. *et al.*,1980)

En publicaciones antiguas se había mencionado en las arcilitas la presencia de un braquiópodo linguloide mal preservado, restos de peces y foramíferos arenosos. STOVER (1967, p. 288) señaló la presencia de palinomorfos indicativos de una edad Devónico superior a carbonífero inferior. Sin embargo, en análisis efectuados por DI GIACOMO (1976, compers.) En muestras de núcleos del pozo Carrizal-2X se demostró la presencia de una flora bien preservada de Densosporites, frecuente en el intervalo entre 4504' - 4554'(1373 - 1338 m) y 5601' - 5677' (1725 - 1730 m); esta flora ha sido referida al Wetsphaliense.(González de Juana, C. *et al.*,1980)

2.3.2.6 Formación Hato Viejo

La litología más típica de Hato Viejo comprende arcosas de grano medio a grueso con algunas láminas de arcilita verdosas; las arcosas pasan lateralmente a areniscas cuarcíferas y lentes conglomeráticas. En la unidad predominan los colores grises, a veces con tonos rojizos. (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

Los conglomerados y areniscas de esta formación se han considerado como la sección basal de la Formación Carrizal, aunque también se ha postulado una interdigitación entre ambas. (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

Estas dos formaciones han aparecido en perforaciones de modo esporádico al suroeste de Anzoátegui y al sur de Guárico, en contacto discordante sobre rocas características del Cratón de Guayana y discordantes por debajo del Grupo Temblador de edad Cretácica. (González de Juana, C. *et al.*, 1980)

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Durante la etapa de recopilación y revisión este trabajo de investigación se consultaron varios estudios multidisciplinarios realizados por distintos autores tanto a nivel regional, en diferentes locaciones dentro de la Subcuenca de Guárico (Proyecto Orinoco Magna Reserva, 2013; Parra *et al.*, 2018) como a nivel local, asociados al Bloque Junín (Alvarez *et al.*, 2013; Berrios *et al.*, 2017, Cabrera *et al.*, 2019), en dichos estudios se proponen distintos modelos geológicos de acuerdo al área estudiada en función del objetivo de cada una de las investigaciones. A continuación se presenta una síntesis de dichos trabajos en donde se contempla su área de estudio, objetivos, datos utilizados y aporte del estudio.

El Proyecto Orinoco Magna Reserva (2013) define como su zona de estudio el área geográfica denominada Faja Petrolífera del Orinoco, la cual comprende los bloques Carabobo, Ayacucho, Boyacá y Junín, cubriendo una extensión aproximada de 55.314 kilómetros cuadrados (Figura 3.1). Su objetivo fue certificar los recursos fósiles de la FPO, para lo que se convocaron 28 países, los cuales participaron por medio de empresas, privadas o estatales, que representaron sus respectivas naciones y conformaron sociedades estratégicas con petróleos de Venezuela a través de su filial CVP, para realizar modelos numéricos estáticos y dinámicos que pudiesen representar la realidad geológica de la región y someter estos modelos computarizados a planes de explotación virtuales óptimos, que pueden ser aplicados en la FPO para producir la mayor cantidad de petróleo posible del existente en sus yacimientos.

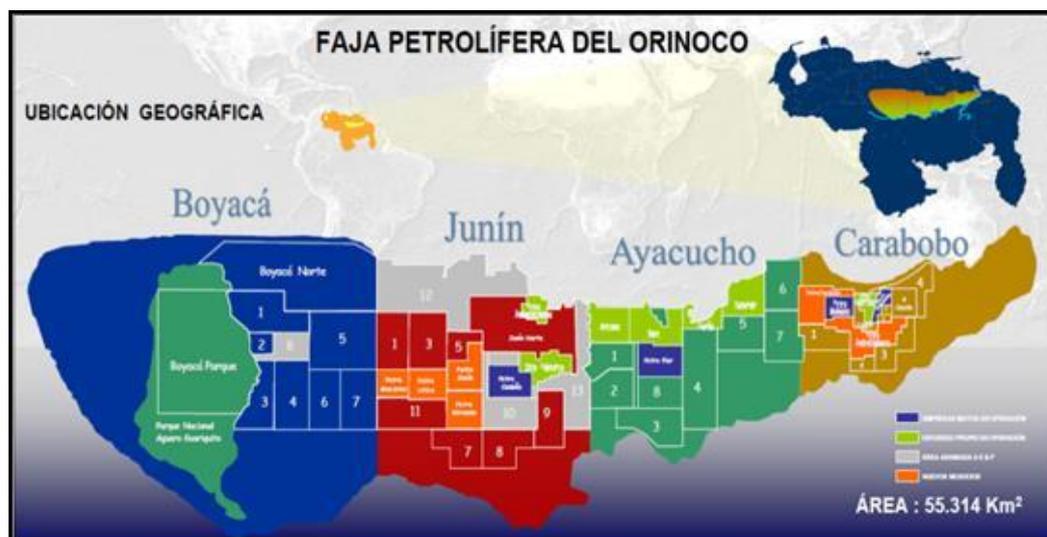


Figura 3. 1 Ubicación del área de estudio, Faja Petrolífera del Orinoco (Proyecto Magna Reserva 2013).

El estudio realizó la certificación de los recursos de la FPO comenzando con el área de Carabobo que certificó sus reservas parcialmente en 2007 y luego en 2010 se realizó la certificación total de sus recursos. Carabobo entregó al Ministerio del Poder Popular para la Energía y el Petróleo y a compañías certificadoras internacionales, todos sus modelos y resultados además de todos los análisis y datos que los avalaban. Junín comenzó su proceso de certificación en el año 2009 y culminó en 2010. Luego Boyacá y Ayacucho para culminar todo el proceso de certificación en diciembre del año 2012. Luego de la certificación de recursos, nace “La Integración Regional de La Faja Petrolífera del Orinoco”. Como primera labor se realizó la compilación de todos los resultados contenidos en los informes de certificación de las Áreas. Se integraron los resultados logrando propagar, de forma constante y coherente, un mismo tope estratigráfico coincidente para toda la Faja, así como también todas sus propiedades físicas y químicas internas. Se obtuvieron seis secuencias sismoestratigráficas regionales (Discordancia Precretácica, Cretácico, Oligomioceno, Intramioceno, Mioceno Inferior a Medio y Mioceno Medio a Superior). De este estudio se tomaron en cuenta los pozos con estudios bioestratigráficos de interés del Bloque Junín, permitiendo registrar esto en una base de datos. De igual manera, las secuencias

sismoestratigráficas regionales definidas contribuyeron al análisis y comprensión de la estratigrafía del Bloque Junín.

Parra *et al.*, 2018 en el estudio: Evaluación del Sistema Petrolífero SUBCUENCA DE GUÁRICO, tiene como objetivo incorporar nuevas oportunidades exploratorias (*plays*) en la Base de Recursos de Exploración (BRE), además de validar y documentar las oportunidades tipo *plays* existentes. Durante su realización estableció un marco tectonoestratigráfico para la subcuenca de Guárico que permitiría una correlación coherente entre las cuencas sedimentarias de Venezuela. Se fundamentó en el análisis sismoestratigráfico y estructural de siete (7) transectos sísmicos (que permitieron identificar tres estilos estructurales) (Figura 3.2), de los cuales 3 de ellos son de interés para este trabajo de grado. Realizaron de igual manera el análisis secuencial de 87 pozos y la calibración sísmica-pozo de las superficies estratigráficas, lográndose reconocer 3 tectonosecuencias y 8 unidades depositacionales limitadas por discordancias de origen tectónico.

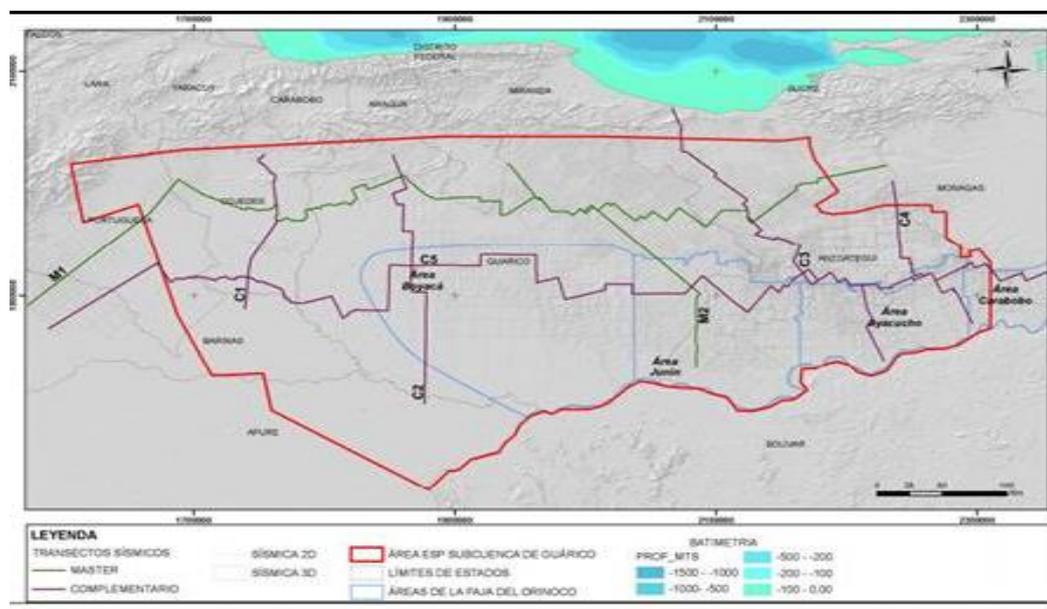


Figura 3. 2 Transectos Sísmicos Master y Complementarios seleccionados para el análisis de la subcuenca de Guárico. (Parra *et al.*, 2018)

Alvarez *et al.*, 2013, en el informe “Definición de un nuevo marco geológico -estratigráfico y sedimentario para la Faja Petrolífera del Orinoco, Dominio Oriental” plantean como objetivo general definir el marco estratigráfico y sedimentario en la FPO-Dominio Oriental (División Carabobo, y parte este de Ayacucho) (Figura 3.3), con la finalidad de establecer un sistema homologado de nomenclatura estratigráfica que sirva de referencia para toda la faja, y que se encuentre ajustado a los conceptos modernos de estratigrafía por secuencias. Realizaron la división del registro geológico del área en diez (10) superficies estratigráficas mayores de 2do y 3er orden en la jerarquía estratigráfica relacionándolos con los eventos estratigráficos mayores y aplicando el Modelo de Secuencia Depositional IV. Dividieron el registro geológico en 16 subunidades de alta resolución y de alta frecuencia (ciclos estratigráficos menores), con una jerarquía estratigráfica de 4to y 5to orden, limitadas en su tope y base por Superficies de Inundación (SI) que poseen características propias y no tienen relación con los FS (*floodingsurface*) definidos por Van Wagoner en 1989. Este marco estratigráfico y sedimentario definido por Alvarez *et al.*, 2013, fue la base para comprender el comportamiento del Bloque Junín y de esta manera definir el marco tectonoestratigráfico del área.

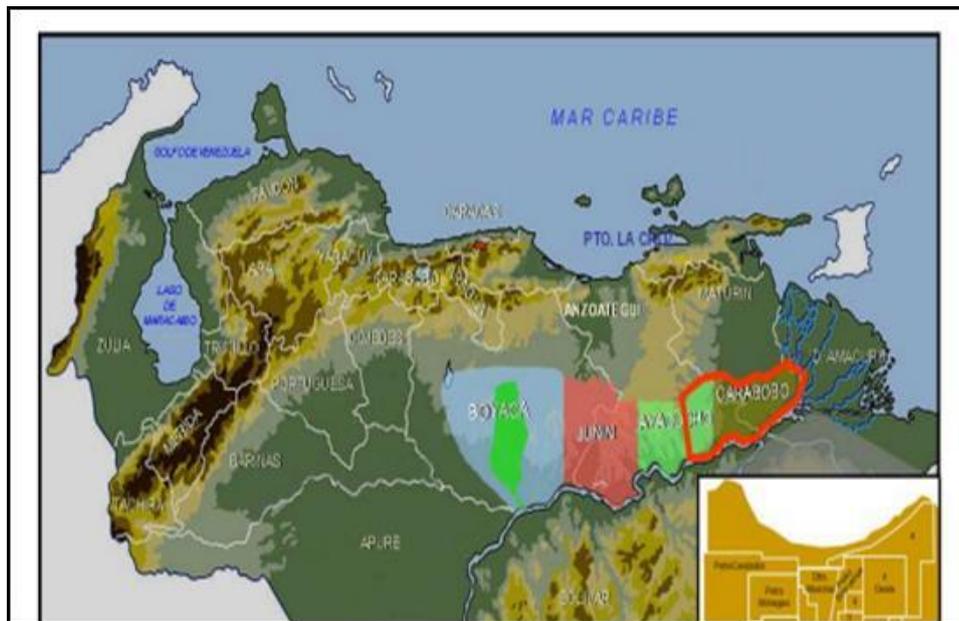


Figura 3. 3 Ubicación geográfica del área FPO Dominio Oriental en rojo (División Carabobo - División Ayacucho). (Alvarez., 2013)

Berrios *et al.*, 2017, en el informe de Oportunidades tempranas en el Cretácico de la FPO – INTEVEP, establecieron como objetivo ubicar áreas con mayor potencialidad para encontrar petróleo de mejor movilidad relativa dentro del Cretácico de la F.P.O. y presentarlas como una propuesta para la captura de nueva información en las mismas. El estudio realizado en este informe fue más local, evaluando así las características de cada bloque pertenece a la Faja Petrolífera del Orinoco. En los bloques de Ayacucho y la parte noroeste de Carabobo se lograron establecer hasta 8 “ciclos estratigráficos-sedimentarios” de cuarto orden en la secuencia Cretácica, que definieron unidades o cuerpos de roca mapeables local y regionalmente. En Boyacá y Junín, el Cretácico representa un ciclo transgresivo donde se identifican claramente cuatro unidades bien diferenciadas en Boyacá (de base a tope: K1, K2, K3 y K4.) y tres unidades en Junín (de base a tope: K1, K2, K3), siendo éstas de interés, análisis y utilidad para el desarrollo y la definición de la estratigrafía secuencial del área definida en el presente trabajo de grado (Figura 3.4).

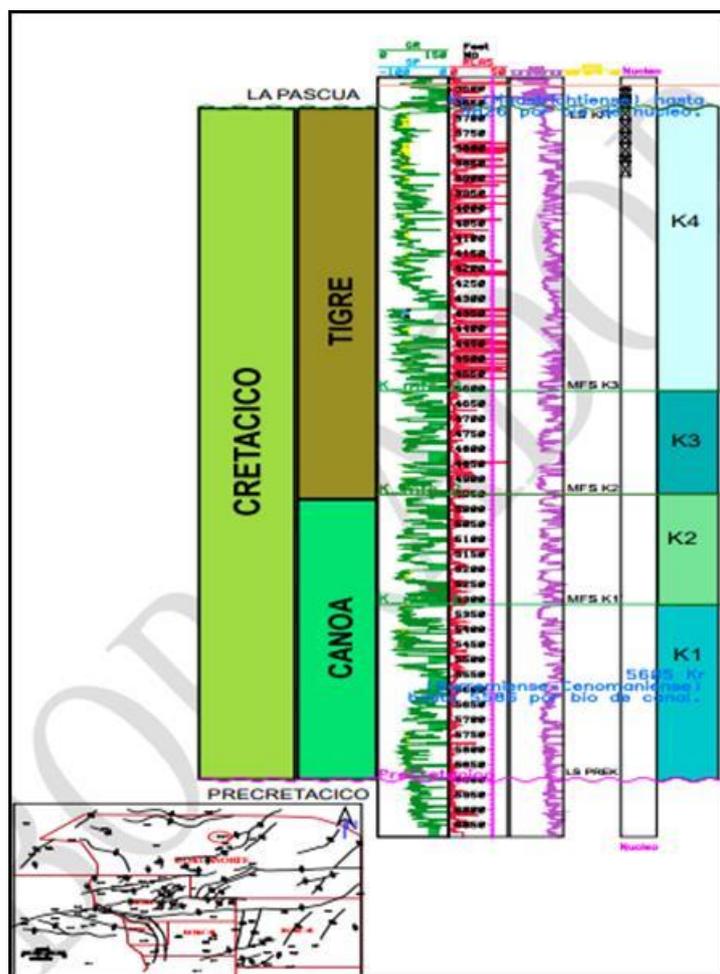


Figura 3. 4 Perfil tipo del Área Boyacá y Junín, resaltando las divisiones de la secuencia Cretácico. (Berrios *et al.*, 2017)

Cabrera *et al.*, (2019), en el estudio integrado bioestratigráfico de alta resolución en pozos del dominio central y occidental de la Faja Petrolífera del Orinoco (área Boyacá, Junín y parte Oeste de Ayacucho) realizaron un análisis, búsqueda, revisión, validación y reinterpretación de 325 pozos con datos bioestratigráficos de edad Pre-Cretácico, Cretácico, Oligo-Mioceno, Mioceno temprano, Mioceno Medio y Mioceno Tardío, del área de estudio (Figura 3.5). El objetivo principal fue establecer el marco cronoestratigráfico y la tendencia paleoambiental de los pozos, siendo estos, parámetros de vital importancia para la construcción del modelo de secuencias. Del total de pozos seleccionados y

reinterpretados, 197 pertenecen al Bloque Junín siendo dicha información base para la definición del marco biocornoestratigráfico de este trabajo de investigación.

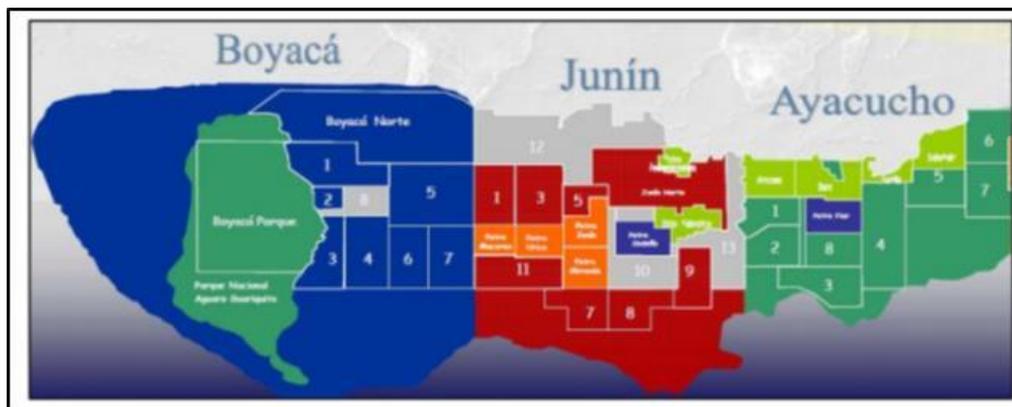


Figura 3. 5 Ubicación del área de estudio, área Boyacá, Junín y parte Oeste de Ayacucho. (Cabrera *et al.*, 2019).

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Ciclo de Wilson

El ciclo de Wilson (1965, 1968; en Vera, J., 1994), permite explicar cómo dentro de una misma placa con corteza continental potente (~30-35 Km.) se puede iniciar el proceso de formación de un nuevo límite de placas, al formarse una fosa tectónica (graben) que empieza a recibir sedimentos.

Dicha fosa puede evolucionar a una cuenca de tipo rift y a la formación de corteza oceánica, para después pasar a una larga etapa de expansión oceánica con el desarrollo de dos márgenes continentales en todas sus etapas (tipo Mar Rojo, tipo Atlántico y tipo Pacífico) (Wilson (1965, 1968); en Vera, J., 1994).

El ciclo termina tras producirse una colisión que ocasiona la formación de una cadena montañosa intracontinental, que tiende lentamente a erosionarse con lo

que se llega a una situación análoga a la inicial. Hay otro tipo de cadenas de montañas que se forman en la fase de subducción y se localizan en el borde de un continente (por ejemplo, Los Andes).

El ciclo se inicia dentro de un bloque continental situado dentro de una placa, en el que la corteza continental tiene 30-35 Km. de espesor. En dicho bloque se forman unas fallas normales que delimitan una fosa tectónica o graben dentro de un proceso de extensión (Wilson (1965, 1968); en Vera, J., 1994).

El graben se acentúa y se rellena parcialmente de sedimentos, en su mayoría continentales (fluvial y lacustre) y en menor escala volcanoclásticos, marinos someros y costeros. Continúa el proceso de extensión cortical, llegando a una fase denominada de rift continental, que se considera la etapa embrionaria del ciclo. (Wilson (1965, 1968); en Vera, J., 1994).

El progresivo adelgazamiento de la corteza continental en las partes centrales de la fosa conlleva un proceso de máximo interés: la formación de corteza oceánica. De este modo se pasa a la fase de océano estrecho o etapa juvenil del margen, que Boillot (1984) divide a su vez en dos fases la fase de "Mar Rojo" con comunicaciones difíciles con el océano abierto y la fase de océano estrecho propiamente dicha en la que se implanta un régimen claramente marino (Wilson (1965, 1968); en Vera, J., 1994).

La expansión oceánica durante un prolongado intervalo de tiempo (varias decenas de Ma.) lleva a la fase de madurez. A cada uno de los lados de este océano que se van ampliando se desarrollan márgenes pasivos o de tipo Atlántico, en los cuales se acumulan importantes volúmenes de sedimentos (Wilson (1965, 1968); en Vera, J., 1994).

Las áreas de corteza continental adyacentes (en el inicio del ciclo) en esta fase se separan de manera muy considerable (centenares o miles de kilómetros) de

manera que se forman dos márgenes continentales cada uno de los cuales tiene o puede tener historias propias, ya que pueden tener áreas fuentes distintas e incluso, a veces, condiciones climáticas diferentes. (Wilson (1965, 1968); en Vera, J., 1994).

Los desajustes de la densidad de la litosfera oceánica distante de la dorsal y, por tanto, completamente enfriada, con respecto a la astenósfera subyacente y la propia carga de sedimentos ocasionan un desacoplamiento en el límite entre la corteza continental y la oceánica adyacentes. La litosfera oceánica se empieza a hundir por debajo de la continental con lo que el margen se transforma de uno de tipo pasivo a otro de tipo activo. Durante la etapa de margen activo o de tipo Pacífico (se produce una reducción progresiva de la extensión del océano en un régimen claramente convergente, que contrasta con el divergente precedente. La prolongada subducción de la placa que contiene la corteza oceánica que se hunde siguiendo un plano buzante (Zona de Benioff) produciéndose una acumulación tectónica (prisma de acreción) de rocas sedimentarias proximidades de la fosa. (Wilson (1965, 1968); en Vera, J., 1994).

3.2.2 Estratigrafía secuencial

"La metodología que permite definir un cuadro cronoestratigráfico a la escala global basándose en la datación precisa de las líneas de tiempo, jalonadas por discordancias de origen eustático, que limitan las unidades genéticas de depósito". (Vail *et al.*, 1987 en Vera, J., 1994).

La principal herramienta utilizada en el análisis estratigráfico secuencial es el patrón de apilamiento de los estratos y las superficies claves ligadas a las sucesiones consolidadas definidos por diferentes patrones de apilamiento estratigráficos. Las direcciones de carácter geométrico, que se combinan para

definir los patrones de apilamiento, engloban el *upstepping*, *forestepping*, *backstepping* y *downstepping* (Catuneanu *et al.*, 2011).

Un marco secuencial estratigráfico puede consistir de tres tipos diferentes de unidad de secuencia estratigráfica, es decir, secuencias de extensiones de sistemas, y parasecuencias. Cada tipo de unidad se define por un tipo de depositación específica, patrones de apilamiento y las superficies de delimitación. La definición de estas unidades es independiente de las escalas temporales y espaciales, y del mecanismo de formación. (Catuneanu *et al.*, 2011).

Los primeros trabajos sobre estratigrafía sísmica y de secuencia publicados en *AAPG Memoir 26* (Payton, 1977) y *SEPM Special Publication 42* (Wilguset *al.*, 1988) dieron como resultado la definición de la secuencia deposicional, como la unidad principal de un modelo estratigráfico de secuencia. Esta unidad estratigráfica está limitada por discordancias subaéreas en el margen de la cuenca y sus correlativas conformidades hacia el centro de la cuenca. La secuencia deposicional se subdividió en sistemas de zonas bajas, transgresivas y altas sobre la base de superficies internas que corresponden a cambios en la dirección del cambio de la línea costera de regresión a transgresión y viceversa (Posamentier y Vail, 1988). Las variaciones sobre el tema de la secuencia deposicional original dieron como resultado la publicación de varias versiones ligeramente modificadas del modelo de secuencia deposicional. (Figura 3.6). (Catuneanu *et al.*, 2011).

3.2.3 Modelo de secuencias depositacionales

Se basa principalmente en los trabajos de Mitchum y otros (1977), Vail (1987), Van Wagoner y otros (1987), Posamentier y Vail (1988), Mitchum y Van Wagoner (1991) y Haq (1991). Las unidades principales son las secuencias depositacionales, que son de dos tipos principales. Estas fueron definidas como

“sucesiones relativamente conformes de estratos ligados genéticamente, limitados por discordancias o sus correlativas conformidades” (Mitchum *et al.*, 1977).

La ciclicidad mostrada por una secuencia depositacional está relacionada con cambios relativos del nivel del mar. Se pueden reconocer dos tipos de secuencias en base a las superficies que las puedan limitar, estos límites pueden ser de tipo 1 y de tipo 2, los cuales se forman en períodos diferentes dentro de una caída relativa del nivel base.

Los límites tipo 1 se generan en períodos de exposición del borde de la plataforma (Posamentier, 1988), cuando el nivel del mar cae por debajo de la ruptura de la línea de costa depositacional (Vail *et al.*, 1991 en Chacón *et al.*, 2013).

Los límites tipo 2 se producen cuando el nivel del mar no cae por debajo de la línea de costa y se generan al principio de la subida del nivel base (Jervey, 1988).

Las secuencias depositacionales están constituidas por parasecuencias, las cuales son sucesiones de capas genéticamente relacionadas que dan lugar a secuencias somerizantes, limitadas por superficies de inundación marina o sus superficies correlativas (Van Wagoner y otros, 1987 en Chacón *et al.*, 2013).

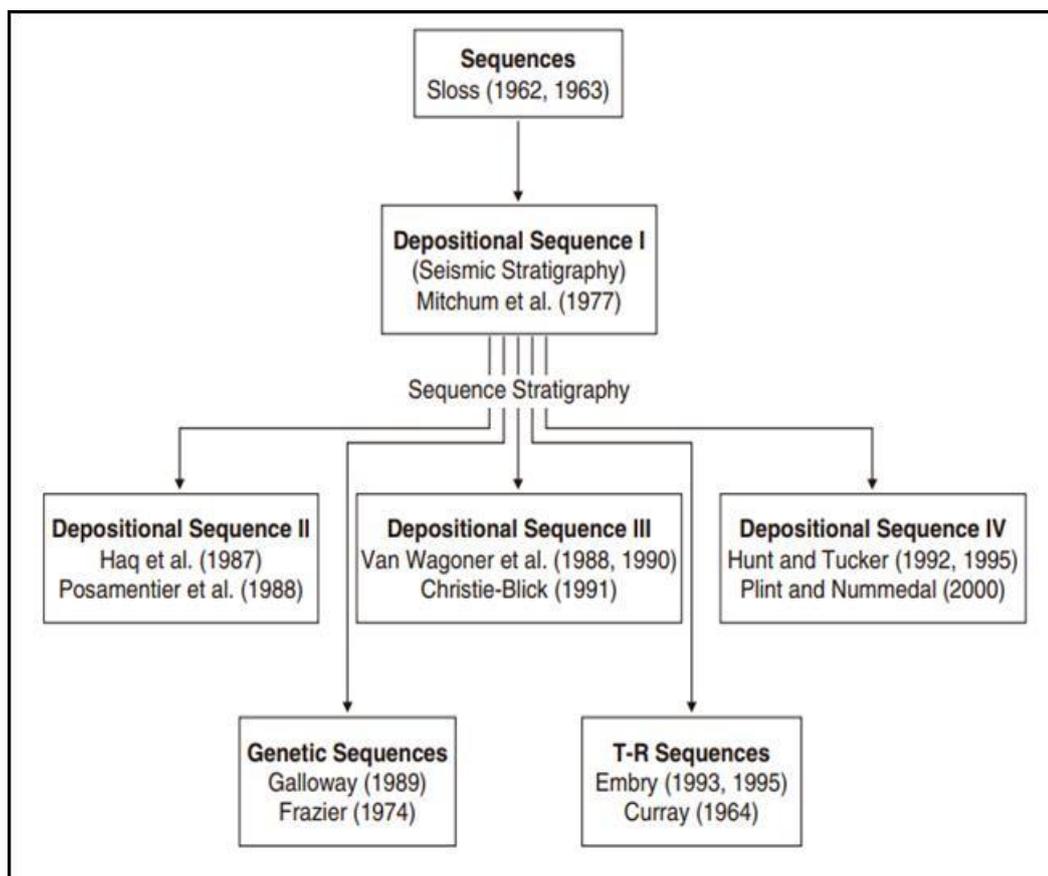


Figura 3. 6 Árbol genealógico de estratigrafía de secuencia (modificado de Donovan, 2001). (Tomado de Catuneanu 2010)

3.2.4 Secuencia depositacional I

Mitchum et al., 1977, introducen el término de secuencias depositacionales, como una sucesión relativamente conformes de estratos genéticamente relacionados limitados por discordancias o sus conformidades correlativas, también define que los límites discordantes definen la posición de las conformidades correlativas en el registro geológico y por lo tanto representa la definición fundamental de secuencias.

3.2.5 Secuencia depositacional II

Vail y otros, (1987) y Posamentier (1988) en Catuneanu, (2010), reconocen las secuencias depositacionales, como paquetes sedimentarios delimitadas por discontinuidades subaéreas y sus conformidades correlativas marinas. Para Posamentier (1988) redefine el concepto del sistema depositacional a una sucesión de sistemas sedimentarios entre los depósitos de los punto de inflexión de la caídas eustáticas, que implica una relación genética entre el desarrollo de la secuencias y los cambios del nivel del mar.

3.2.6 Modelo de secuencias genéticas

La secuencia estratigráfica genética (Galloway, 1989) utiliza superficies de inundación máxima como límites de secuencia, tanto en la porción marina como en la continental de una cuenca sedimentaria. Uno de los principales argumentos para esta elección de superficie delimitadora es que los “principales cambios en la distribución paleogeográfica de los sistemas depositacionales y depocentros ocurren durante épocas de máxima transgresión costera” (Galloway, 1989). A su vez, tales cambios en la distribución de los sistemas depositacionales y depocentros marcan cambios significativos en los patrones de dispersión de sedimentos a lo largo de la superficie de máxima inundación, que comúnmente se identifica como una "superficie de solapamiento" en términos geométricos (Schlager, 1991; Galloway, 2004 en Catuneanu *et al.*, 2011).

La secuencia estratigráfica genética se subdivide en tramos de sistemas altos (ascenso tardío), bajos (caída y ascenso temprano) y sistemas transgresivos, utilizando la misma terminología de trectos de sistemas que la secuencia depositacional II. Este modelo supera los problemas relacionados con el reconocimiento de conformidades correlativas que limitan la secuencia de depósito (superficies formadas al inicio y al final de la caída del nivel de base) en sucesiones marinas poco profundas, y tiene el mérito de que las superficies de

inundación máxima son relativamente fáciles de mapear. a través de una cuenca. De hecho, debido a su asociación común con unidades de esquisto extensas a nivel regional, las superficies de inundación máxima suelen ser más fáciles de mapear en registros de pozos y líneas sísmicas que las discordancias subaéreas. Este aspecto práctico añade una ventaja significativa al enfoque estratigráfico de secuencia genética, y es la razón por la que muchos geólogos, independientemente de su "afinidad" estratigráfica de secuencia (es decir, el modelo de elección), prefieren comenzar su análisis estratigráfico cartografiando las superficies de inundación máxima (Catuneanu *et al.*, 2011).

3.2.7 Modelo de secuencia Transgresivo-Regresivo (T-R)

La secuencia transgresiva-regresiva (T-R) (Embry y Johannessen, 1992) está limitada por superficies compuestas que incluyen discordancias subaéreas en el margen de la cuenca y la porción marina de superficies máximas regresivas más hacia el mar. Este modelo ofrece una forma alternativa de empaquetar estratos en secuencias, en un intento de sortear algunos de los errores de la secuencia deposicional y la secuencia estratigráfica genética. Los defensores del modelo de secuencia T-R reconocieron el valor de las discordancias subaéreas como límites de secuencia, siguiendo el enfoque iniciado por la escuela de secuencia deposicional, pero eliminaron las "conformidades correlativas" (inicio o final de las superficies de caída del nivel base) como parte del límite de la secuencia debido a los problemas de reconocimiento que pueden plantear en sucesiones marinas poco profundas, particularmente cuando los datos sísmicos no están disponibles para el análisis. Al mismo tiempo, el modelo T-R evita el problema de tener discordancias subaéreas dentro de la secuencia al utilizarlas como parte de los límites de la secuencia (Catuneanu *et al.*, 2011).

La "conformidad correlativa" del modelo de secuencia T-R está representada por la porción marina de la superficie máxima regresiva. Esta superficie estratigráfica tiene la ventaja de ser reconocible en entornos de aguas

poco profundas en prácticamente cualquier tipo de datos de afloramiento o subsuelo, pero puede plantear problemas de reconocimiento en entornos de aguas profundas donde es probable que se desarrolle dentro de una sucesión conformable de turbidita de baja densidad. Los problemas de reconocimiento planteados por las conformidades correlativas de la secuencia deposicional y los modelos de secuencia T – R son, por lo tanto, recíprocos entre los entornos de aguas poco profundas y profundas. Otro problema potencial con el uso de la superficie regresiva máxima como límite de secuencia es que el momento de su formación depende de las tasas de sedimentación y, por lo tanto, esta superficie puede registrar una diacroneidad significativa a lo largo del rumbo. Como la afluencia de sedimentos terrígenos a los diversos puntos de entrada de sedimentos a la cuenca marina puede cambiar considerablemente a lo largo del rumbo, el inicio de la transgresión puede retrasarse en áreas de alto suministro de sedimentos. En tales áreas, la superficie máxima regresiva es más joven que en otras áreas caracterizadas por un menor suministro de sedimentos, y tales diferencias de edad pueden llegar a ser lo suficientemente significativas como para ser resueltas mediante bioestratigrafía (Catuneanu *et al.*, 2011).

Al igual que el modelo de secuencia estratigráfica genética, el modelo T-R está intrínsecamente relacionado con los cambios de línea costera y, por lo tanto, no se puede aplicar en zonas sobrepobladas (Catuneanu *et al.*, 2011).

3.2.8 Modelo de secuencia Regresivo- Transgresivo (R-T)

La identificación de todo lo regresivo (highstand, de etapa descendente y de nivel bajo) y los sistemas transgresivos, está directamente vinculado y depende de la reconstrucción de los cambios sindeposicionales en la línea costera (es decir, regresión normal de nivel alto, regresión forzada, regresión normal de nivel bajo o transgresión, respectivamente). Por lo tanto, la aplicación de estos conceptos de tramos de sistemas "tradicionales" requiere un buen control de las porciones marinas y no marinas de una cuenca y, lo más importante, la preservación de los

depósitos paleocosteros y cercanos a la costa que pueden revelar el tipo de cambio de la línea costera durante la sedimentación. Los patrones de progradación o retrogradación de facies y puntos de entrada de sedimentos a la cuenca marina son, por tanto, críticos para la identificación de cualquiera de los modelos secuenciales. Sin embargo, hay situaciones en las que las cuencas sedimentarias están dominadas por procesos superficiales no marinos (por ejemplo, cuencas sobrellenadas), o en las que sólo las facies no marinas se conservan o están disponibles para el análisis. En tales casos, cualquier referencia a cambios sindeposicionales de la línea costera se vuelve superflua y, por lo tanto, el uso de la nomenclatura de tramos de sistemas tradicionales carece de la justificación fundamental proporcionada por la evidencia de transgresiones o regresiones de la línea costera. La solución a este problema fue la introducción de tramos de sistemas de alojamiento alto y bajo, diseñados específicamente para describir depósitos fluviales que se acumularon aislados de influencias marinas/lacustres, o para los cuales la relación con las costas contemporáneas es imposible de establecer debido a preservación o problemas de disponibilidad de datos (Dahle *et al.*, 1997). Estos tramos de sistemas se definen principalmente sobre la base de elementos arquitectónicos fluviales, incluida la contribución relativa de los rellenos de canales y los depósitos de sobrelanque al registro de roca fluvial, lo que a su vez permite inferir las cantidades de acomodación fluvial (baja versus alta) disponible en el tiempo de sedimentación. Los 'tramos de sistemas' de baja y alta acomodación también se han denominado 'sucesiones' de baja y alta acomodación. (Catuneanu *et al.*, 2011).

En general, los modelos de estratigrafía de secuencia fluvial todavía están vinculados a un registro marino contemporáneo, describiendo cambios en las facies y la arquitectura fluviales dentro del contexto de los cambios en el nivel de base marino y utilizando la nomenclatura tradicional de tramos de sistemas de tierras bajas, transgresivas y altas. En este contexto, los sistemas fluviales (de baja y alta acomodación) de Dahle *et al.* (1997) representan un avance conceptual en el sentido de que definen unidades estratigráficas no marinas independientemente de

los cambios en el nivel de base marino y los cambios asociados en la costa (Catuneanu *et al.*, 2011).

3.2.9 Patrones de apilamiento estratigráfico

Los patrones de apilamiento estratigráfico pueden ser definidos de dos formas, relacionadas o independientes a las trayectorias del litoral. Los criterios involucrados en la definición de patrones de depositación incluyen las geometrías y facies relaciones que surgen de la interacción entre el alojamiento disponible y el suministro de sedimentos en el tiempo-sindepocional (Catuneanu *et al.*, 2011).

Patrones de apilamiento relacionados a *Shoreline* se definen por combinaciones de las tendencias de deposición que pueden estar vinculados a tipos específicos de la trayectoria litoral: regresión forzada (*forestepping* y peldaños descendentes en la costa, interpretado como resultado de alojamiento negativo); normal de regresión (*forestepping* y *upstepping* en el costa, interpretado como el resultado de positivo y sobrellenado alojamiento); y la transgresión (*backstepping* en la costa, interpretado como el resultado de positivo y alojamientos sin rellenar). En el caso de ciclos estratigráficos que incluyen una etapa de regresión forzada, así como una etapa de la transgresión, regresiones normales pueden ocurrir durante tanto *lowstands* y *highstands* de nivel relativo del mar y, en consecuencia, los productos se pueden clasificar como '*lowstand*' y '*highstand*'. Además de regresivas o costas transgresoras, costas estables también puede desarrollarse donde el alojamiento y los sedimentos suministro están en equilibrio. Sin embargo, como el alojamiento y suministro de sedimentos son controlados de forma independiente por diferentes mecanismos, en costas estables es poco probable mantenerse durante todos los períodos de tiempo significativos. La importancia de las trayectorias del litoral, sea o no dentro de un contexto estratigráfico secuencial, se reiteró por Helland-Hansen y Hampson (2009). (Catuneanu *et al.*, 2011).

3.2.10 Sistemas depositacionales

Es un conjunto tridimensional de litofacies que son depositadas bajo condiciones depositacionales similares (Brown y Fisher, 1977). Cada sistema depositacional consiste de varios sistemas encadenados producidos durante un ciclo eustático. Los sistemas depositacionales observados en secuencias estratigráficas incluyen abanicos submarinos, lóbulos y canales turbidíticos, relleno de valles incisos, deltas, depósitos de plataforma externa, dunas fluviales, depósitos de plano costero en clásticos, así como arrecifes, plataforma interna y evaporitas en carbonatos, entre otros. (Ragusa, 1993 en Chacón *et al.*, 2013).

Es el producto de sedimentación en un ambiente de deposición particular, por lo tanto, incluye el conjunto tridimensional de estratos cuya geometría y facies conducen a la interpretación de un entorno paleodepositacional específico. Los sistemas depositacionales forman los bloques de construcción de sistemas encadenados, representando este último un elemento esencial en el concepto para la correlación estratigráfica y la genética interpretación de la relleno de la cuenca sedimentaria. El estudio de los sistemas depositacionales está íntimamente relacionada con la conceptos de facies, facies asociaciones y facies modelos.

3.2.10 Sistema depositacional transicional

Son ambientes situados en la zona límite continente-mar, y los sedimentos se depositan en función de la influencia tanto por aporte continental como marino. La fuerte intensidad de sedimentación da lugar a cambios continuos en la morfología y delimitación en la línea de costa (Rivas Y., 2017).

Se clasifican en: (a) Deltas, (b) Estuarios, (c) Llanura de marea, (d) lagunas de costeras, (e) isla de barreras.

3.2.11 Sistema depositacional marino

Corresponden a ambientes en que la energía de transporte es función de la dinámica marina, y donde los sedimentos llegan generalmente a través de los ambientes de transición, ya sea por removilización y erosión, o porque los sedimentos los atraviesan sometidos a la influencia de su mecanismo de transporte. (Rivas Y., 2017).

Los ambientes marinos según el procesos y la profundidad de la columna de agua: (a) Plataforma: de carbonatos y arrecifes orgánicos y marinos someros; (b) Talud (turbiditas); y (c) Abisal.

3.2.12 Superficies estratigráficas

Las superficies estratigráficas marcan cambios a través del tiempo. En el patrón depositacional, pueden ser guía en los cambios de la tendencia de los depósitos; por ejemplo: la tasa de sedimentación y/o flujo de energía, reflejan espacio de acomodación y se crea por la interacción del nivel base y la sedimentación. Estas superficies pueden corresponder o no al límite del registro estratigráfico de los estratos (hiato estratigráfico y laguna), en función de su expresión en la sísmica y afloramiento. Estas superficies pueden o no tener una expresión en la sísmica, (colocar facies contrastantes en contacto a través de una superficie determinada), dependiendo de las condiciones de la depositación o la conservación. Para ello, se reconocen las terminaciones estratigráficas las cuales definen la geometría entre los estratos y la superficie estratigráfica (en dirección de solapamientos o en caso contrario por truncación). A su vez, se observa mejor la escala más grande, sobre líneas sísmicas 2D, 3D y en afloramiento. A continuación se describen los principales tipos de terminaciones sísmicas:

(a)Truncamiento: implica la depositación de los estratos y su posterior decapitación parcial o total a lo largo de una superficie erosiva. La interpretación

de la terminación de la reflexión de los estratos inclinados (Truncamiento erosional), pueden ser sencillo o subjetivo dependiendo de la angularidad de las reflexiones de la superficie de erosión (Vail *et al.*, 1977).

(b) En la interpretación sísmica de un sistema deltaico (depósitos de planicie deltaica), el Topset puede ser demasiado delgado para ser "visto" en los perfiles sísmicos como una unidad separada (espesor por debajo de la resolución sísmica). En este caso, el Topset puede ser confundido como un Toplap (es decir, una truncación aparente). (Catuneanu *et al.*, 2010). Según Vail *et al.*, 1977, en la práctica, muchos límites depositacionales marcados por el criterio de la reflexión sísmica Toplap se encuentran en zonas más locales y en muchos casos no pueden ser correlacionados regionalmente. Por esta razón, las ocurrencias menores del toplap se incluyen comúnmente asignadas dentro de la secuencias depositacionales y en sus límites superiores. Cuando su desarrollo es muy regional tiene sus implicaciones a los eventos tectónicos asociados

La relación de la base discordante en la interpretación de las reflexiones sísmica incluye solapamiento (onlap) y biselamiento inferior (downlap):

(c) Solapamiento (onlap): marca la terminación lateral de una unidad sedimentaria en su límite depositacional. Por definición se establece como la relación de las terminaciones sísmicas interpretadas, de los estratos de bajo ángulo contra una superficie estratigráfica más pronunciada. Según el ambiente depositacional de la unidad sedimentaria, se puede interpretar por medio de la reflexión sísmica, el avance del solapamiento (onlap) en ambientes costeros y marinos.

(d) Biselamiento inferior (downlap): es una relación en el cual las reflexiones sísmicas son interpretadas como estratos inicialmente inclinados terminando buzamiento abajo contra una superficie inicialmente inclinada u horizontal. (Vail *et al.*, 1977)

(e) El offlap es el término comúnmente usado por intérpretes sísmicos para patrones de reflexión de estratos programando dentro de la cuenca (Vail *et al.*, 1977).

Las terminaciones de reflexiones no sistemáticas dentro de los reflectores, debido al adelgazamiento de los estratos por debajo de la resolución sísmica (convergencia interna), no se deben confundir con las terminaciones a lo largo de los límites de secuencias.

3.2.13 Tectonosecuencia

Es un ciclo mayor de eventos tectónicos (parte del ciclo de Wilson) conectadas dentro de una cadena de eventos dinámicos que dividen la superficie de la tierra en muchas grandes placas rígidas generando la etapa del Rift, (Apertura continental), y las fases de margen pasivo y activo (Santiago *et al.*, 2015).

3.2.14 Unidades estratigráficas y depositacionales

Los elementos constructivos básicos para la mayoría de los trabajos geológicos son cuerpos de roca definidos con base en su composición y características líticas relacionadas, o en sus propiedades físicas, químicas o contenido biológico. Es necesario destacar la relativa objetividad y reproducibilidad de los datos empleados en la definición de unidades dentro de cada categoría (Barragán y otros, (2010) en Rivas Y., 2017)

Las unidades estratigráficas consisten de un estrato o conjunto de estratos, reconocidos como una unidad (una entidad distintiva) en la clasificación de la secuencia rocosa terrestre, con respecto a cualquiera de los muchos caracteres,

propiedades o atributos que las rocas puedan poseer. Las cuales no necesariamente coinciden una con la otra (Vera, J., 1994).

Una unidad litoestratigráfica es un cuerpo definido de estratos sedimentarios, ígneos extrusivos, metasedimentarios o metavolcánicos, que se distingue y delimita por sus características líticas y su posición estratigráfica. Por lo general, una unidad litoestratigráfica se apega a la Ley de la Superposición, es estratificada y de forma tabular. (Barragán, R. *et al.*, 2010. Código Estratigráfico Norteamericano).

Las unidades bioestratigráficas: tienen gran importancia en las interpretaciones paleoambientales, mediante la consideración de las características paleoecológicas de los fósiles y pueden brindar además un seguro apoyo a las determinaciones de edad (Rivas Y., 2017).

Las unidades cronoestratigráficas: son cuerpos de roca establecidos para servir como referente material para todas las rocas formadas durante el mismo lapso de tiempo. Cada límite es sincrónico. Los cuerpos también sirven como base para definir el lapso temporal específico o la unidad geocronológica. (Barragán, R. *et al.*, 2010. Código Estratigráfico Norteamericano).

Unidad depositacional: Este término que puede asociarse a la definición de Secuencia de (Sloss y otros, (1949); Sloss (1963)). La unidad es un ciclo de orden mayor que contiene la sucesión de estratos depositados bajo un mismo evento tectónico y limitado por discordancia sub-área reconocida en la sísmica y asociada a cambios en el tectonismo. (Santiago *et al.*, 2015)

Los elementos que actúan en la formación de una cuenca son inferidos por la continuidad de las estructuras que definen la geometría y el estilo estructural de la misma y simplifica la correlación de los eventos tectónicos a escala continental. En este término se considera, el sistema de jerarquía, basado en los cambios del

nivel base, la tectónica y subsidencias, los cuales resultan en la delimitación de las superficie o discontinuidades estratigráficas (Rivas Y., 2017).

Considerando la definición original de las unidades cronoestratigráficas y litoestratigráficas versus una unidad depositacional, la diferencia se establece en la aplicabilidad cuando se correlaciona una cuenca bajo la metodología unidades cronoestratigráficas y litoestratigráficas; por ejemplo, la primera, hace énfasis en los límites basados en secuencia continúa y no continúa mediante la delimitación de estratotipos de límites mutuos o no continuos e independientes de la litología, contenido fósil, o de otros elementos materiales de subdivisión estratigráfica. Por último las unidades litoestratigráficas, ubican los límites en los cambios líticos, pueden estar o no en contacto, dentro de la zona de agradación. No obstante, una sucesión de rocas similares puede inclusive oscurecer una discordancia, de tal forma que la separación en dos unidades sea deseable pero poco práctica. (Barragán y otros, (2010) en Rivas Y., 2017).

Mientras que para la unidad depositacional, su principal análisis es considerar el sistema de jerarquía, a fin de establecer su límite, basados en los principales controles que afectan la sedimentación: tectonismo (subsidencia), eustacias y tasa de sedimentación y simplificar la correlación de los procesos tectónicos a nivel de cuenca (Rivas Y., 2017).

3.3 Términos básicos

3.3.1 Acomodación de sedimentos

El concepto de acomodación, se define como el espacio disponible para llenar de sedimentos (revisar bien la traducción del concepto, me parece que falta algo) (Jervey, 1988). El alojamiento puede ser modificado por la interacción entre varios controles independientes que pueden operar sobre una amplia gama de escalas temporales. La acomodación marina es controlada principalmente por el tectonismo de la cuenca y eustatismo global, y, en escalas de tiempo mucho más cortos, por las fluctuaciones en el flujo de energía de las olas y corrientes. Los cambios en la acomodación marina se denominan “cambios en el nivel relativo del mar”, cuando se enfatiza la interacción del tectonismo y eustatismo, o cambios en el nivel-base, cuando el flujo de energía depositacional también es considerado como un ajuste. El acomodamiento Fluvial responde a los cambios de alojamiento marino dentro la porción de aguas abajo de los sistemas fluviales, y para cambios en la descarga, la pendiente y el suministro de sedimentos que pueden ser controlados por el clima y/o área fuente tectonismo dentro de la parte aguas arriba de los sistemas fluviales. A medida que responden a controles independientes, costera (marino) y el alojamiento interior en los sistemas fluviales puede estar fuera de fase (Blum y Tornquist, 2000 en Catuneano *et al.*, 2011). Es por ello que las tendencias depositacionales (agradación, progradación, retrogradación) estarán condicionadas por el espacio de acomodo y la interacción del mismo con el aporte de sedimentos.

3.3.2 Aporte de sedimentos

Se denomina tasa de aporte de sedimento de una cuenca, a la tasa del volumen de sedimento introducido en la misma, desde las fuentes fluviales y no al redistribuido por la erosión costera. La tasa de aporte de sedimento es un factor importante que controla, en relación a los cambios del nivel relativo del mar, y los

regímenes de energía costera, la evolución de los patrones de sedimentación en la plataforma. En trabajos escritos sobre Estratigrafía de Secuencia, se asume que el aporte de sedimento es constante en el tiempo, cosa no siempre cierta, particularmente cuando se consideran espacios de tiempo de unos pocos millones de años o cuencas sedimentarias donde el aporte de sedimento aumenta durante los periodos de levantamiento tectónico del área fuente del sedimento. Los cambios climáticos también modifican el aporte de sedimento y un cambio de condiciones de secas a húmedas, resultará en grandes volúmenes de flujo de sedimento (Malandrino, 2013).

3.3.3 Batimetría

La batimetría, aplicada al medio marino, es la medición de las profundidades marinas para determinar la topografía del fondo del mar. Su medición implica la obtención de datos con los valores de la profundidad y la posición de cada uno de los puntos muestreado. Estos puntos de posición, al igual que ocurre con la altimetría, están formados por coordenadas de puntos X,Y,Z. (Campillo M, 2017)

A partir de los puntos muestreados, se pueden definir líneas con el mismo valor de profundidad, estas líneas reciben el nombre de isóbatas. El conjunto de todas las isóbatas de una determinada zona daría lugar al modelo batimétrico que determinará cómo se estructura el fondo marino. (Campillo M, 2017)

Además de obtener información sobre la profundidad de cada uno de los puntos medidos, el análisis completo de la batimetría de una determinada zona de estudio, permite obtener información muy detallada sobre la forma y estructura del lecho marino sobre cómo es su estructura geológica y geomorfológica. (Campillo M, 2017)

3.3.4 Bioestratigrafía

Se llama Bioestratigrafía a "la parte de la Estratigrafía que trata de los restos o evidencias de vida pasada en los estratos y de la organización de estos estratos en unidades basadas en su contenido fósil" (GEI, 1980). La Bioestratigrafía es realmente una ciencia intermedia entre la propia Estratigrafía y la Paleontología que se ocupa de la distribución de los fósiles en el registro estratigráfico y de la subdivisión de los materiales estratificados en unidades bioestratigráficas. El objetivo básico de la Bioestratigrafía es recopilar y usar la información acerca de la evolución morfológica de especies concretas para de este modo determinar su distribución paleobiogeográfica y estratigráfica. (Vera, J., 1994).

3.3.5 Biohorizontes y biozonas

Cada fósil aparece en un grupo de estratos concreto, ninguna roca más inferior o superior en la columna estratigráfica vuelve a contener los fósiles de esta especie. Las superficies litológicas que limitan la presencia de un fósil son los biohorizontes. Hay dos tipos de biohorizontes, los de primera aparición y los biohorizontes de última presencia (Quesada, 2012).

Normalmente una especie va evolucionando y poco a poco deja de estar presente, mientras que sus diferenciaciones siguen el camino evolutivo, en este caso los horizontes son difusos. Pero en algunas ocasiones se dan procesos de extinción masiva, que eliminan en un corto periodo de tiempo, gran parte de las especies, como es el caso de la gran extinción de los dinosaurios que marca el final del periodo Cretácico. Los biohorizontes de extinciones masivas son mucho más claros (Quesada, 2012).

Las biozonas son las unidades litológicas que presentan un fósil índice, o su contenido paleontológico. Hay varios tipos de biozonas (Quesada, 2012).

Las biozonas de conjunto representan la asociación de varios fósiles de forma natural en una sección estratigráfica.

Las biozonas de extensión, que corresponden a biozonas que se expanden horizontal o verticalmente.

Las biozonas de apogeo, que marcan la máxima abundancia de una especie, género e incluso la de una familia.

Las biozonas de intervalo representan las rocas entre dos biohorizontes de distintos fósiles.

3.3.5.1 Foraminíferos

Los foraminíferos son organismos unicelulares con testas o conchillas que constan de una o más cámaras interconectadas. Estas pueden ser de naturaleza orgánica, aglutinada, calcárea o silíceas. Constituyen el grupo más diverso de microorganismos con conchilla de los océanos modernos (SenGupta, 1999 en Sánchez, 2015), aunque también estarían representados en ambientes de agua dulce (Holzmann *et al.*, 2003 en Sánchez, D., 2015).

Existen foraminíferos planctónicos y bentónicos. Los foraminíferos planctónicos aparecen desde el mesozoico y son microorganismos que flotan; mientras que los foraminíferos bentónicos son organismos que viven fijos a un sustrato. (Sánchez, D., 2015).

3.3.5.2 Nanofósil calcáreo

Se conoce como nanofósil a toda forma orgánica con 2 a 50 μm de tamaño, visible únicamente a través Microscopía Óptica con un aumento de 100x o a través de cualquier Microscopio Electrónico, y son producidos por algas planctónicas unicelulares. (Sánchez, D., 2015).

Como su nombre lo indica, ellos son de carbonato de calcio. Los nanofósiles aparecen durante el Mesozoico y han evolucionado a través del tiempo geológico hasta la actualidad. Uno de los principales grupos que producen nanofósiles, son los Cocolitoforidos, y al igual que los foraminíferos planctónicos, la abundancia de los nanofósiles en los océanos hacen que sean un grupo muy importante dentro de la bioestratigrafía. (Sánchez, D., 2015).

3.3.5.3 Palinomorfos

Son microfósiles de pared orgánica en incluye; polen y esporas y algunos microorganismos marinos tales como dinoflagelados. El polen y las esporas son transportados por el viento y las aguas, y pueden viajar largas distancias antes de su depositación final; es por ello que pueden aportar muy poca información en cuanto a ambientes de sedimentación se refiere. (Sánchez, D., 2015).

3.3.6 Clasificación de los sistemas sedimentarios principales

3.3.6.1 HST: Sistemas de alto nivel

El HST comprende los depósitos progradacionales que se forman cuando las tasas de acumulación de sedimentos superan la tasa de aumento la acomodación durante la etapa tardía de aumento en el nivel relativo del mar.

(Figura 3.7). Los HST actúan directamente sobre el MFS formado sedimentos marinos cuando alcanza una posición más hacia la tierra. Este sistema encadenado tiene un tope por la discordancia subaérea y su conformidad correlativa según Posamentier y Allen (1994). Los patrones de apilamiento progradante expuestos y de agradación son comúnmente delgados, y están limitados por un *Topset* fluvial, simple y / o un delta costero con depósitos de llanura. (Catuneano *et al.*, 2011).

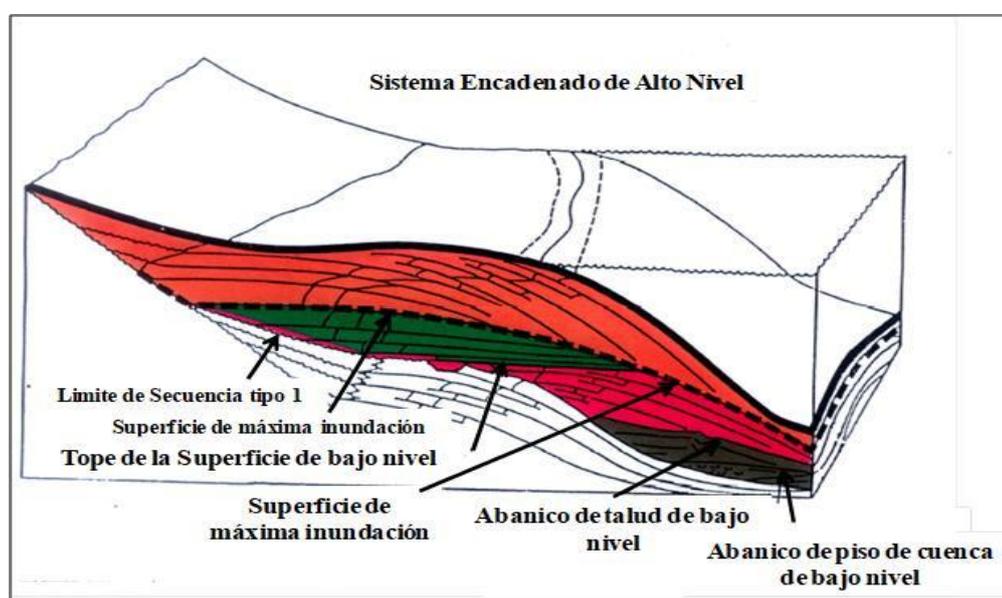


Figura 3. 7 Sistema encadenado de Alto nivel. (Modificado de Posamentier y Vail, 1988 en Catuneanu, 2011).

3.3.6.2 TST: Sistemas transgresivos

El TST comprende los depósitos que se acumularon desde el inicio de la transgresión hasta el momento de máximo transgresión de la costa, justo antes de la renovación regresión del HST (Figura 3.8). El TST se encuentra directamente en la máxima superficie regresiva formada en el extremo de regresión (también denominada como una superficie "transgresiva") y está cubierto por la superficie de máxima inundación (MFS) y se forma cuando los sedimentos marinos alcanzan su mayor posición hacia la tierra. Los patrones de apilamiento expuestos

en los *backstepping*, *onlapping* son cliniformes retrogradacionales que engruesan hacia tierra. En los casos en que hay un aporte máximo de sedimentos las parasecuencias pueden ser agradacionales. (Catuneano *et al.*, 2011).

Los sistemas transgresivos (TST) se forman cuando el nivel relativo del mar aumenta o sube más rápido que la tasa de aporte de sedimento. Cuando esto sucede, el sistema de bajo nivel se cambia de un apilamiento regresivo a uno transgresivo. Esto sucede muy rápidamente, ya que cuando el nivel eustático del mar comienza a subir, la subida del nivel relativo del mar se acelera. La superficie que separa estos dos modos depositacionales se denomina la Superficie Transgresiva. Todo depósito transgresivo que se acumula sobre la superficie transgresiva forma el Sistema Encadenado Transgresivo. (Van Vagoner, Posamentier, Mitchum y cols, 1988 en Malandrino, 2013).

3.3.6.3 LST: Sistemas de nivel bajo

El LST comprende los depósitos que se acumulan posteriores al inicio de aumento en el nivel relativo del mar, durante la regresión normal, en la parte superior de la FSST y buzamiento arriba de la correspondiente discordancia subaérea (Figura 3.9). Los sedimentos de los LST a menudo llenan o rellenan parcialmente los valles incisos que se partieron en el HST, y otros depósitos anteriores, durante la regresión forzada. Este sistema encadenado también ha definido el denominado *Late Lowstand Systems Tract* (Posamentier *et al.* 1988; Posamentier y Allen 1999, en Catuneano *et al.*, 2011) o la cuña denominada como *Lowstand Prograding Wedge Systems Tract* (Hunty Tucker 1992, en Catuneano *et al.*, 2011).

Los Sistemas de Nivel Bajo (LST) comprenden todos los sedimentos acumulados durante la bajada del nivel relativo del mar, también como los acumulados durante la fase de subida lenta del nivel relativo del mar. Cuando el nivel relativo del mar, comienza a bajar, el nivel de base fluvial baja, la

plataforma es expone al ambiente aéreo y es sujeta a erosión, la cual forma valles cavados (valles incisos) sobre la plataforma (Van Vagoner, Posamentier, Mitchum y cols, 1988, en Malandrino, 2013).

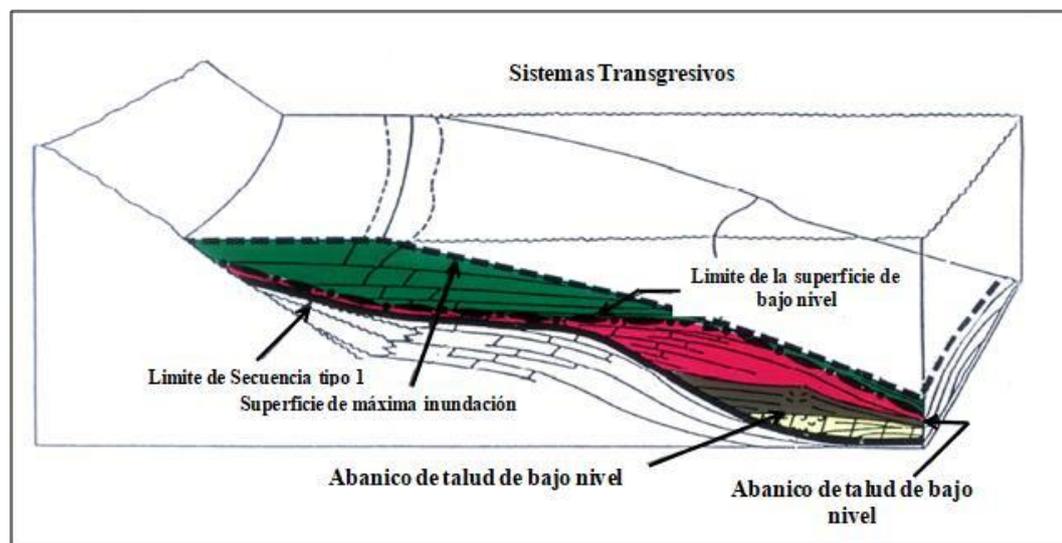


Figura 3. 8 Sistema transgresivo (Modificado de Posamentier y Vail, 1988 en Catuneanu, 2011)

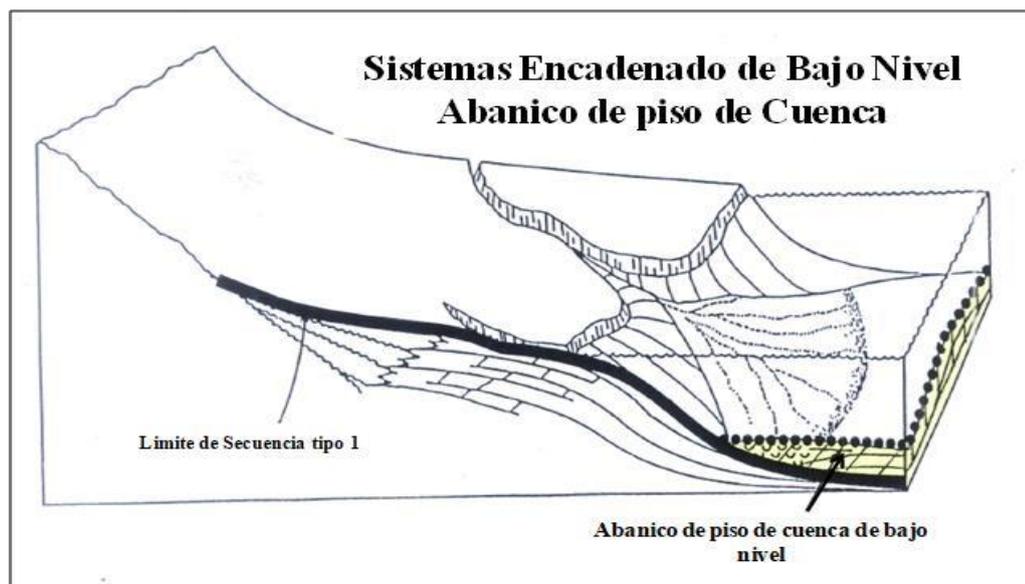


Figura 3. 9 Sistema encadenado de bajo nivel. (Modificado de Posamentier y Vail, 1988 en Catuneanu, 2011)

3.3.7 Clasificación por profundidad de los ambientes marinos

3.3.7.1 Zona litoral

Sector del agua de baja profundidad, transición al ambiente de tierra firme o playa (Figura 3.10). Significa que la energía solar es suficiente pero la cercanía de la tierra firme provoca el ingreso de depredadores al ambiente. La presión del agua no importa hasta la profundidad de 10 metros no es un factor limitante. La poca profundidad del agua puede provocar un calentamiento del agua en verano, que coincide con una disminución del oxígeno libre en el agua - aún peor es un posible crecimiento de algas que disminuye más la cantidad de oxígeno y afecta seriamente los seres vivos demás en el sector. Afectada por las olas y las mareas altas y bajas: La oleaje es un fenómeno que por un lado mejora la ventilación en el agua y asegura un suministro en oxígeno libre para todos los animales en esta zona. Pero un oleaje fuerte afecta todos los seres vivos en la zona. Una buena protección (caparazón) podría ser una ventaja. Las mareas altas y bajas en este ambiente provocan que el sector se quede por un par de horas seco. Para los seres vivos marinos significa eso: moverse a sectores más profundos o adaptarse a la vida en el oxígeno en la atmósfera. Aquí es muy fácil para imaginarse como la evolución logró algunos 400 millones años atrás la transición hacia la vida en la tierra firme. Además el ambiente litoral depende mucho de la erosión de las olas. Muy llamativo son las diferentes formas de las costas: playas de arena, costas rocosas con gravas redondeadas, acantilados rocosos de considerables alturas, islotes (Griem, 1998).

3.3.7.2 Zona nerítica

Se halla situada sobre la plataforma continental, desde la orilla del mar hasta una profundidad de 200 metros (Figura 3.10). Se caracteriza por el continuo movimiento de las aguas debido al oleaje y a las mareas. En esta zona los ríos

descargan una gran cantidad de sedimentos que contienen materia orgánica, proveniente de los continentes; esto provoca que los organismos fotosintéticos, como las algas y los pastos marinos, encuentren las condiciones adecuadas para desarrollarse en abundancia. En la zona nerítica viven gran cantidad de especies de plancton, nectos y bentos. Plancton: Son los seres microscópicos que viven en la superficie del agua; están constituidos por algas, protozoarios, bacterias, huevos y larvas de diferentes animales. Necton: Es la comunidad constituida por los organismos que tienen capacidad de moverse dentro de la masa de agua. Ejemplo: peces, tiburones y mamíferos marinos. Bentos: Son los organismos que viven asociados con el fondo marino. Las esponjas, erizos, moluscos, crustáceos y algunos peces son parte del bentos (Griem, 1998).

3.3.7.3 Zona batial

La zona batial o batipelágica es el área del océano entre los 3.300 y 13.000 pies (1000 a 3962 metros) de profundidad (Figura 3.10). Por encima de él se encuentra la zona mesopelágica, mientras que por debajo se encuentra la zona abisal o abisopelágica. La zona batial está en oscuridad permanente, con sólo una pequeña cantidad de luz solar en el extremo azul del espectro penetrando tan abajo como la zona batial. Esta falta de luz es un factor primordial, junto con la presión del agua, sobre las criaturas que viven allí (Griem, 1998).

3.3.7.4 Zona abisal

La zona abisal es una región profunda del océano, que oscila entre 2.000 y 6.000 metros (Figura 3.10). El lugar es frío y muy oscuro. Esta parte de los océanos responde por una gran cantidad de extensión de tierra. La zona abisal se utiliza como término principalmente en la biología marina para describir la parte más profunda del océano.

Para tener una idea, el fondo del mar tiene una profundidad que oscila entre 4.000 y 6.000 metros, lo que impide la llegada de la luz solar. En el fondo de los océanos el agua permite una composición con una presión de aproximadamente 11.000 psi. (Griem, 1998).

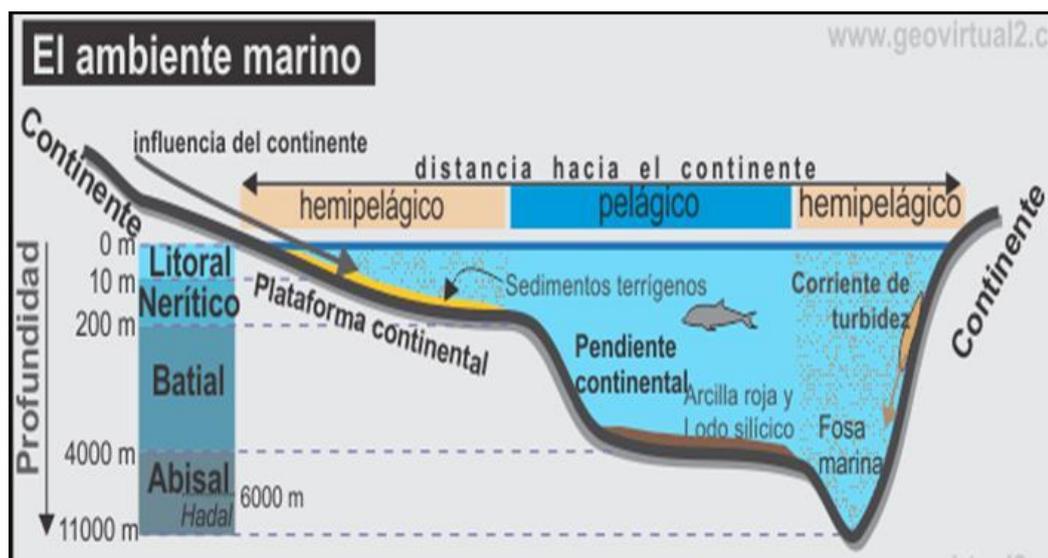


Figura 3. 10 Gráfica de la distribución de Ambientes marinos en función de la profundidad. (Griem, 1998)

3.3.8 Correlación

La correlación es un procedimiento para establecer la correspondencia entre partes geográficamente separadas de una unidad geológica. El término en general tiene diversos significados en diferentes disciplinas. La demostración de correspondencias temporales es uno de los objetivos más importantes de la Estratigrafía. El término correlación frecuentemente es usado incorrectamente para expresar la idea de que una unidad ha sido identificada o reconocida. (Guadalupe, E. *et al.*, 1982. Código estratigráfico de Norteamérica)

3.3.9 Cronoestratigrafía

Parte de la estratigrafía que trata de la organización de los estratos. en unidades basadas en sus relaciones de edad. (Guadalupe, E. *et al.*, 1982. Código estratigráfico de Norteamérica)

3.3.10 Discontinuidad

Se denomina discontinuidad a la relación genética entre dos unidades litoestratigráficas superpuestas entre cuyo depósito respectivo haya mediado una interrupción sedimentaria medible. (Vera, J., 1994).

Una discontinuidad estratigráfica representa un largo período durante el cual se interrumpió la sedimentación, la erosión eliminó las rocas previamente formadas y luego continuó el depósito. En cada caso, el levantamiento y la erosión fueron seguidos de subsidencia y nueva sedimentación. Las discontinuidades estratigráficas son rasgos importantes porque representan acontecimientos geológicos significativos de la historia de la Tierra. Además, su reconocimiento nos ayuda a identificar qué intervalos de tiempo no están representados por los estratos y, por tanto, no aparecen en el registro geológico. (Tarbuck y Lutgens, 2005.)

3.3.11 Discordancia

Quizá la discontinuidad más fácil de reconocer es la discordancia angular. Consiste en rocas sedimentarias inclinadas o plegadas sobre las que reposan estratos más planos y jóvenes (Figura 3.11). Una discordancia angular indica que, durante la pausa en la sedimentación, se produjo un período de deformación (pliegue o inclinación) y erosión. (Tarbuck y Lutgens, 2005.)

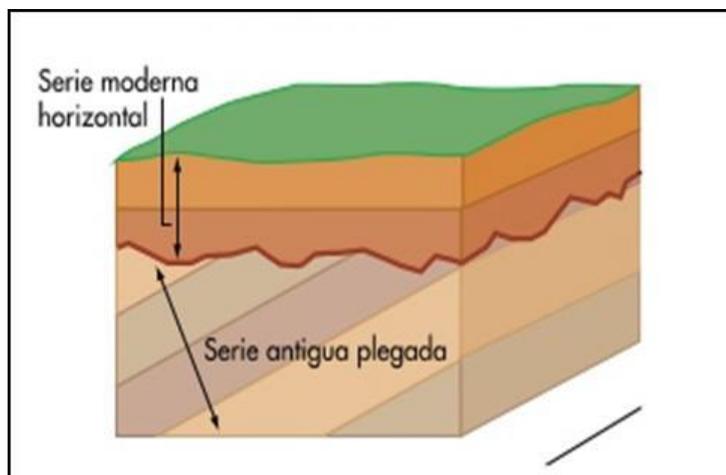


Figura 3. 11 Las discontinuidades estratigráficas. Discordancia. (Durán, J., 2018)

3.3.12 Estratigrafía

“Rama de la Geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias y estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratigráficas de rocas”. (Weller, 1960 en Vera, J., 1994).

"Estudio e interpretación de los procesos registrados en las sucesiones sedimentarias que van a permitir, además de conocer la naturaleza y disposición de las rocas estratificadas, la correlación, tanto de los materiales como de los sucesos, y una ordenación temporal correcta de la secuencia de materiales y sucesos" (Corrales *et al.*, 1977 en Vera, J., 1994).

3.3.13 Eustatismo

Se refiere a los cambios absolutos del nivel del mar, que afecten al conjunto de la Tierra. Donovan y Jones (1979) consideraron que estos cambios

globales del nivel del mar (cambios eustáticos) se deben a dos grandes conjuntos de procesos:

a) Cambios en el volumen del agua de los océanos: Partiendo de la hipótesis de que el agua total de la hidrosfera haya sido constante, los cambios se deben esencialmente a cambios en la extensión de los casquetes glaciales sobre continentes. Otros factores de orden menor son la desecación de algunas cuencas oceánicas (p.ej. el Mediterráneo durante el Messiniense) y a cambios de la temperatura del agua.

b) Cambios en el volumen de las cuencas oceánicas: Están provocados por: variaciones en el volumen de las crestas oceánicas, por la inundación de nuevos océanos, por cambios notables en el volumen de sedimentos depositados y por cambios en el geoide. Todos estos procesos a su vez vienen controlados por dos factores fundamentales: el clima y la tectónica.

Con el nombre de eustatismo se conoce a la teoría que explica el régimen de fluctuaciones del nivel del mar (Figura 3.12) inducidos por fenómenos climáticos (glacioeustatismo) o tectónicos globales (tectonoeustatismo). El término eustasia es un sinónimo de eustatismo.

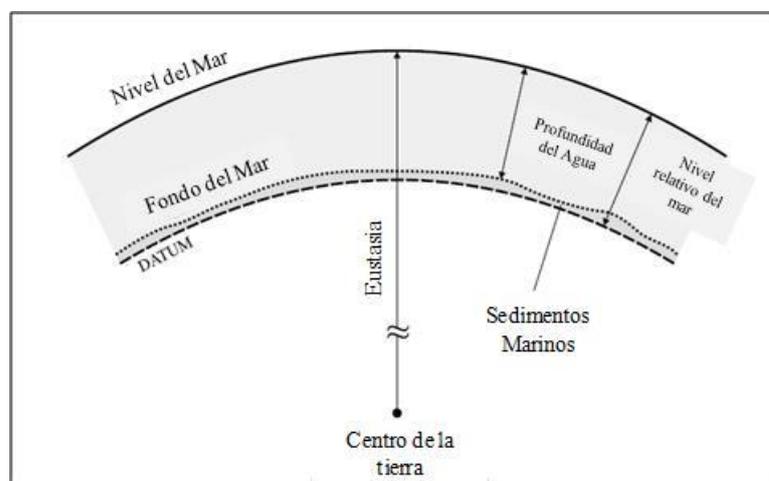


Figura 3. 12 Eustatismo, nivel relativo del mar, y la profundidad del agua como una función del nivel del mar, fondo del mar. (Modificado de Catuneano, 2011).

3.3.14 Facies

El concepto de *facies* en Estratigrafía y en Sedimentología lo introdujo formalmente Gressly (1838) para denominar a "la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica" (según la traducción de Teichert, 1958), o sea, para definir el "aspecto" de cada grupo de rocas. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

En algunos casos el término *facies* se ha usado con una sola acepción doctrinal (acepción abstracta), la que corresponde a un conjunto de propiedades (por tanto, carente de dimensiones) que caracterizan a unos materiales estratificados, o sea, con el mismo sentido con el que fue utilizado originariamente. En otros casos, cada vez más frecuentes, se utiliza para denominar a un volumen de materiales caracterizados por unas propiedades y, por tanto, que si tiene dimensiones (acepción concreta). (Tarbuck y Lutgens, 2005).

3.3.15 Formación

La formación es la unidad fundamental en la clasificación litoestratigráfica. Una formación es un cuerpo de roca que se identifica por sus características líticas y por su posición estratigráfica; generalmente, aunque no necesariamente, es tabular y se puede cartografiar en la superficie de la Tierra o seguirse en el subsuelo. (Guadalupe, E. *et al.*, 1982. Código estratigráfico de Norteamérica)

3.3.16 Grupo

El grupo es la unidad litoestratigráfica de rango inmediatamente superior al de formación. Un grupo puede estar completamente constituido por formaciones nombradas, o puede estarlo parcialmente por formaciones no nombradas. (Guadalupe, E. *et al.*, 1982. Código estratigráfico de Norteamérica)

3.3.17 Inconformidad

El tercer tipo básico de discontinuidad es la inconformidad. Aquí la ruptura separa rocas ígneas, metamórficas más antiguas de los estratos sedimentarios más jóvenes (Figura 3.13). Exactamente igual que las discordancias y las paraconformidades implican movimientos de la corteza, también las inconformidades. Las masas ígneas intrusivas y las rocas metamórficas se originan bastante por debajo de la superficie. Por tanto, para que se desarrolle una inconformidad, debe haber un período de elevación y erosión de las rocas suprayacentes. Una vez expuestas en la superficie, las rocas ígneas o metamórficas son sometidas a meteorización y erosión antes de la subsidencia y de la reanudación de la sedimentación. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

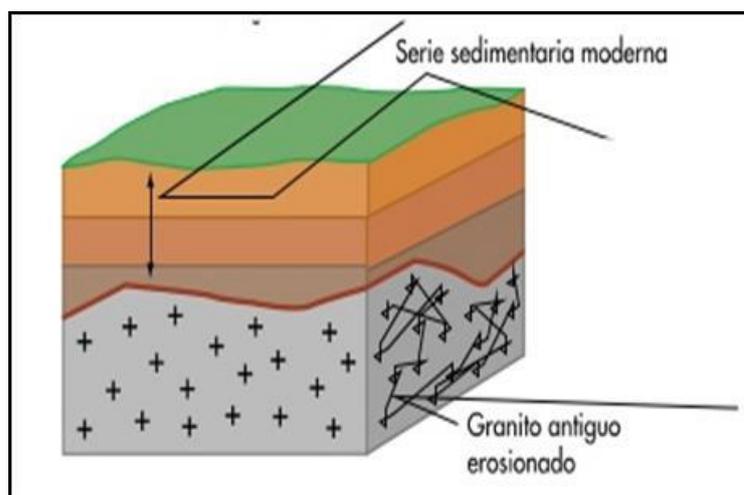


Figura 3. 13 Las discontinuidades estratigráficas. Inconformidad. (Durán, J., 2018)

3.3.18 Litoestratigrafía

Parte de la estratigrafía que trata de la organización de los estratos en unidades basadas en sus caracteres litológicos y posición estratigráfica. (Guadalupe, E. *et al.*, 1982. Código estratigráfico de Norteamérica)

3.3.19 Miembro

Un miembro es una unidad litoestratigráfica de rango inmediatamente inferior al de formación y es siempre parte de una formación. Se reconoce como una entidad con nombre dentro de una formación porque posee características que la distinguen de las partes adyacentes de la formación. No es necesario dividir una formación en miembros, a menos que tenga un propósito con fines prácticos. Algunas formaciones pueden estar totalmente divididas en miembros, otras pueden tener sólo algunas partes designadas como miembros y otras, ninguno. Un miembro puede extenderse lateralmente de una formación a otra. (Guadalupe, E. *et al.*, 1982. Código estratigráfico de Norteamérica)

3.3.20 Nivel base

Se conoce como nivel de base, a aquel plano horizontal teórico que impone el límite final a la acción erosiva de una corriente fluvial y por ende a todos sus afluentes. Es entonces, el nivel por debajo del cual cesa la acción fluvial, y que de manera generalizada no es otro que el nivel del mar.

Sin embargo, existen también niveles de base locales, que se producen allí donde se pierde la pendiente, que ya dijimos en otro post. es el requisito para que una corriente pueda fluir. Los niveles de base locales pueden ser naturales o artificiales. Del primer tipo son principalmente los lagos, pantanos y bañados; y

del segundo, son los diques y represas, todos los cuales determinan la cota más baja que alcanza el río en la zona en cuestión.

Todo nivel de base ya se trate del global, que es el mar, o de los locales, es tan dinámico como lo es todo el sistema terrestre. Los niveles de base locales varían a lo largo de la evolución del paisaje, o también por eventos tectónicos que se producen a veces muy rápidamente (Figura 3.14).

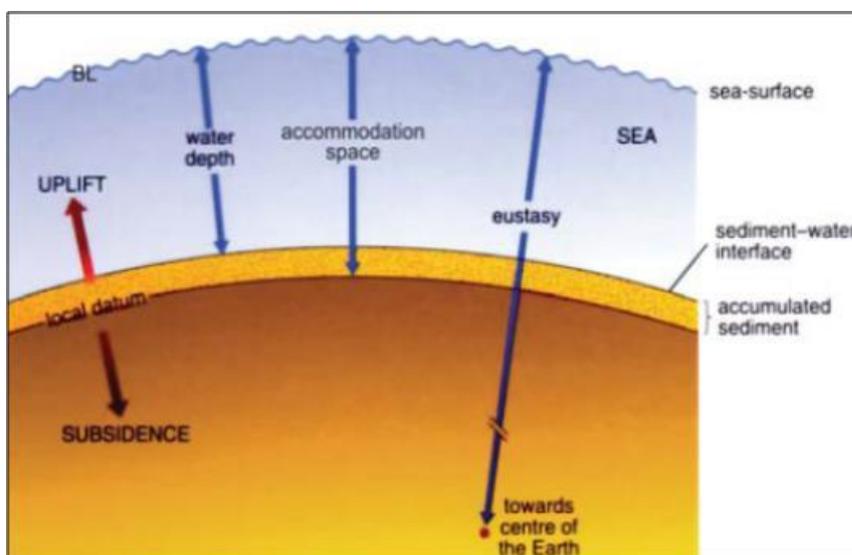


Figura 3. 14 Cambio en el nivel base. (Embry, 2009)

Catuneano (2006), en su Publicación “PRINCIPLES OF SEQUENCE STRATIGRAPHY” recopila una serie de conceptos referidos al nivel base propuestos por distintos autores, dentro de los cuales destacan los siguientes:

Nivel Base según Bates y Jackson, (1987) “límite teórico o el nivel más bajo hacia el cual la erosión de la superficie de la Tierra constantemente avanza, pero rara vez, o nunca, se alcanza. Por lo general o final del nivel base de la superficie de la tierra es el nivel del mar”.

Nivel Base según Posamentier y Allen, (1994) “el nivel que alcanza un río en su desembocadura (es decir, ya sea el nivel del mar o el nivel del lago), y constituye la superficie a la que está anclado el perfil de equilibrio”.

3.3.21 Paleobatimetría

La paleobatimetría se basa en la determinación del ambiente en el cual se produjo la depositación de una unidad litológica, en un periodo geológico determinado.

3.3.22 Paraconformidad

La paraconformidad es cuando la superficie de separación entre ambas unidades es plana y paralela a la estratificación de ambas unidades (Figura 3.15). Se establece como límite convencional para las disconformidades que las cavidades erosivas superen el metro de profundidad, mientras que las superficies erosivas de menor envergadura pueden asimilarse a paraconformidades. (Vera, 1994).

Cuando se las compara con las discordancias angulares, las paraconformidades son más comunes, pero normalmente son bastante menos claras, porque los estratos situados a ambos lados son en esencia paralelos. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

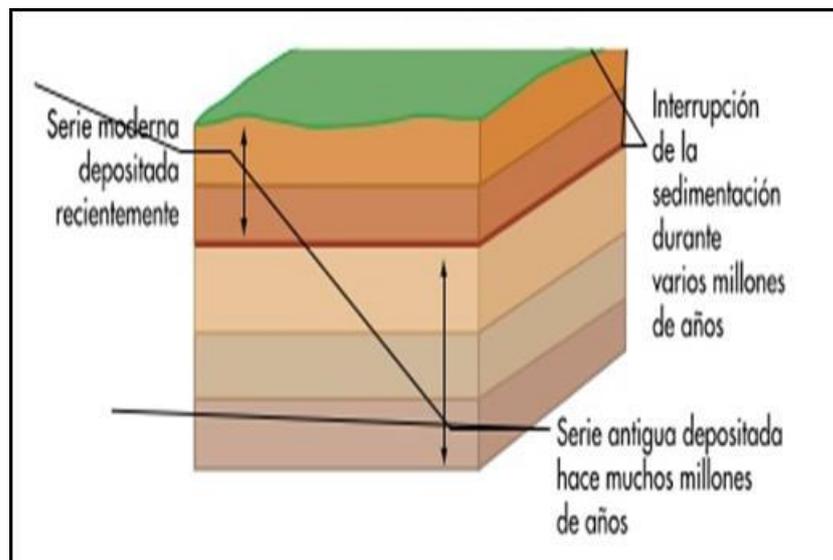


Figura 3. 15 Las discontinuidades estratigráficas. Paraconformidad. (Durán, J., 2018)

3.3.23 Parasecuencia

En Estratigrafía secuencial se define como parasecuencia a una sucesión relativamente concordante de estratos o conjuntos de estratos limitada por superficies de inundación marina. En sedimentos siliciclásticos las parasecuencias son progradacionales y muestran ciclos de somerización, mientras que en carbonatos de plataforma presentan dispositivos agradacionales y secuencias, igualmente, de somerización. Las superficies de inundación marina son superficies que separan lotes de estratos entre los que se constata un incremento brusco de la profundidad. Esta profundización brusca queda reflejada, además de por el cambio de facies, por la presencia de rasgos estratigráficos que indiquen una breve interrupción sedimentaria (hiato). (Vera, J., 1994).

La “parasecuencia” es una unidad estratigráfica definida como una sucesión relativamente conformable de lechos o conjuntos de lechos genéticamente relacionados y delimitados por superficies de inundación” (Van Waggoner, 1995). Las parasecuencias se identifican comúnmente con lóbulos que se vuelven más gruesos y se progradan hacia arriba en entornos costeros a

marinos poco profundos. La deposición de cada lóbulo progradante finaliza con eventos de profundización abrupta del agua, que conducen a la formación de superficies de inundación marina. Estas parasecuencias suelen ser los componentes básicos de sucesiones de mayor frecuencia asociados con tendencias generales de progradación o retrogradación costera, por lo que pueden ser parte de tramos de sistemas de mayor escala. (Catuneanu, 2006).

3.3.24 Sedimentología

La sedimentología es la rama de la Geología que estudia la formación, transporte, deposición y diagénesis de los sedimentos." (Pettijohn, Potter y Siever, 1972 en Catuneano, 2006).

“La Sedimentología se define como el estudio del transporte y depósito de sedimentos” La sedimentología tiene especial interés en las propiedades físicas (textura, estructuras sedimentarias, composición mineralógica), químicas (condiciones del ambiente ej. óxido-reducción) y biológicas (partículas orgánicas) de los sedimentos. Para ello, se apoya en disciplinas tales como: estratigrafía, mineralogía, geoquímica, oceanografía, micropaleontología, mecánica de fluidos, geoestadística, entre otras.

3.3.25 Sistemas encadenados (systemtracks)

Un sistema encadenado "un vínculo contemporáneo de sistemas deposicionales, formando la subdivisión de una secuencia" (Brown y Fisher 1977, en Catuneanu *et al.*, 2011). La definición de un sistema encadenado es independiente del espacio y escala temporal. La arquitectura interna de un sistema encadenado pueden variar en gran medida con la escala de observación, a partir de una sucesión de *facies* (e. g., en el caso de alta frecuencia de secuencias accionados al forzar orbital) para establecer una parasecuencia o un conjunto de secuencias de frecuencias más altas. (Catuneanu *et al.*, 2011).

3.3.26 Unidad diacrónica

Una unidad diacrónica comprende los lapsos desiguales de tiempo representados por uno o más cuerpos de roca específicos y diacrónicos (Artículo 91). Tales cuerpos pueden ser litoestratigráficos, bioestratigráficos, pedoestratigráficos, aloestratigráficos o un conjunto de dichas unidades. Una unidad diacrónica es aplicable sólo donde exista su referente material. (Barragán, R. *et al.*, 2010. Código Estratigráfico Norteamericano).

3.3.27 Unidad geocronológica

Las unidades geocronológicas son divisiones de tiempo que tradicionalmente se distinguen con base en el registro de las rocas, según lo expresan las unidades cronoestratigráficas. Una unidad geocronológica no es una unidad estratigráfica (es decir, no es una unidad material), sino que corresponde al lapso temporal de una unidad cronoestratigráfica establecida, su inicio y final corresponden a la base y la cima del referente (Barragán, R. *et al.*, 2010. Código Estratigráfico Norteamericano).

3.3.28 Unidad litodémica

Una unidad litodémica es un cuerpo definido de rocas predominantemente intrusivas, altamente deformadas y/o altamente metamorfoseadas, que se distingue y delimita por las características de la roca. En contraste con las unidades litoestratigráficas, una unidad litodémica generalmente no obedece la Ley de la Superposición. Sus contactos con otras unidades de roca pueden ser sedimentarios, extrusivos, intrusivos, tectónicos o metamórficos (Barragán, R. *et al.*, 2010. Código Estratigráfico Norteamericano).

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación según Tamayo, M. (2004) “Comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o proceso de fenómenos.”

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (Arias, 2012)

Según Cancela *et al.*, (2010), los estudios correlacionales comprenden aquellos estudios en los que estamos interesados en describir o aclarar las relaciones existentes entre las variables más significativas, mediante el uso de los coeficientes de correlación. Estos coeficientes de correlación son indicadores matemáticos que aportan información sobre el grado, intensidad y dirección de la relación entre variables.

Behar, D. (2008), establece que la investigación aplicada “se caracteriza porque busca la aplicación o la utilización de los conocimientos que se adquieren”.

En referencia a lo expresado por los autores citados, la presente investigación queda enmarcada como descriptiva, correlacional y aplicada.

Descriptiva, ya que se especifican y describen los datos recolectados del área. Correlacional, debido a que se realizan comparaciones y relaciones entre modelos secuenciales y registros de pozos para el desarrollo de los objetivos. Aplicada, dado que la misma le permitirá al Proyecto Cretácico aplicar los análisis realizados y de esta manera dar base a futuros planes de exploración y explotación de la zona.

4.2 Diseño de investigación

Kerlinger (2002) sostiene que generalmente se llama diseño de investigación al plan y a la estructura de un estudio. “Es el plan y estructura de una investigación concebidas para obtener respuestas a las preguntas de un estudio”

El diseño de investigación del presente estudio es de tipo documental. Según Arias, F. (2012) “la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas.”

4.3 Población de la investigación

Según Arias, F (201) “la población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. Aunado a esto, la población de este estudio está representada por 77 pozos distribuidos en los campos: Norte Zuata, Zuata Principal e Iguana Zuata, pertenecientes al Bloque Junín, Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías.

4.4 Muestra de la investigación

Arias, F (2012) “la muestra es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto, permite hacer inferencias o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido”.

En este estudio la muestra está conformada por 30 pozos pertenecientes al Bloque Junín, de los cuales 13 son pozos claves, ubicados en los transectos definidos para el análisis de los sistemas depositacionales en el área y 17 son pozos complementarios.

4.5 Técnicas de recolección de datos

4.5.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para a Arias, F (2012) “se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información.

Las técnicas facilitan el manejo de la información para su comprensión e interpretación, y a su vez acortan los tiempos empleados para generar resultados confiables. Por tal razón es necesario seleccionar las técnicas e instrumentos que se adapten al tipo de investigación a realizar.

4.5.2 Revisión bibliográfica

Hernández en su publicación “Revisión Bibliográfica” (1979) define esta técnica de la siguiente manera: “consiste en detectar, obtener y consultar la bibliografía necesaria y otros materiales que puedan ser útiles para los propósitos del estudio. Así como extraer y recopilar información relevante que atañe al problema de investigación”. Dicha definición se ajusta a esta investigación puesto

que, para la realización de la misma se consultaron múltiples fuentes de información tales como, estudios previos e información de pozos.

4.5.3 Entrevista informal

Sabino (1992) define la entrevista informal como “La modalidad menos estructurada posible de entrevista ya que la misma se reduce a una simple conversación sobre el tema en estudio. Lo importante no es aquí definir los límites de lo tratado ni ceñirse a algún esquema previo, sino ‘hacer hablar’ al entrevistado, a modo de obtener un panorama de los problemas más salientes, de los mecanismos lógicos y mentales del respondente, de los temas que para él resultan de importancia.”

Esta técnica es aplicada dentro de esta investigación al establecer conversaciones orales con el equipo multidisciplinario del Proyecto Cretácico (estratígrafos, petrofísicos, geofísicos,), mediante la formulación de preguntas relacionadas con el tema a ser analizado, generándose así, diversas matrices de opiniones y contribuyendo de esta forma a la interacción con el equipo. De igual manera la técnica es aplicada durante las sesiones de asesoría académica, al interactuar con el tutor académico logrando de esta manera solventar dudas con respecto al proceso de investigación y complementando de forma efectiva la información aportada por el tutor industrial.

4.5.4 Instrumentos de recolección de datos

La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. A dicho soporte se le denomina instrumento. Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.

Para llevar a cabo la investigación se requiere la siguiente instrumentación:

- 1) Equipos informáticos (computadora y memoria portátil).
- 2) Suite de *Microsoft Office* (*Word, Excel, PowerPoint*).
- 3) *Software: ArcGIS, Canvas y Openwork.*
- 4) Cuaderno.
- 5) Bolígrafo.

4.6 Flujograma de trabajo

En este apartado se describe de forma detallada la metodología empleada para el análisis secuencial que permitió definir los sistemas depositacionales Cretácicos en el área, consiguiendo unificar los distintos criterios empleados en trabajos previos al momento de proponer modelos geológicos. El marco metodológico se dividió en tres etapas, quedando configuradas de la siguiente manera: generación de la base de datos geológica, generación del marco biocronoestratigráfico y análisis secuencial de pozo. Estas etapas serán ampliamente descritas en este capítulo. En la Figura 4.1 se describe el flujograma de la metodología establecida en este estudio.

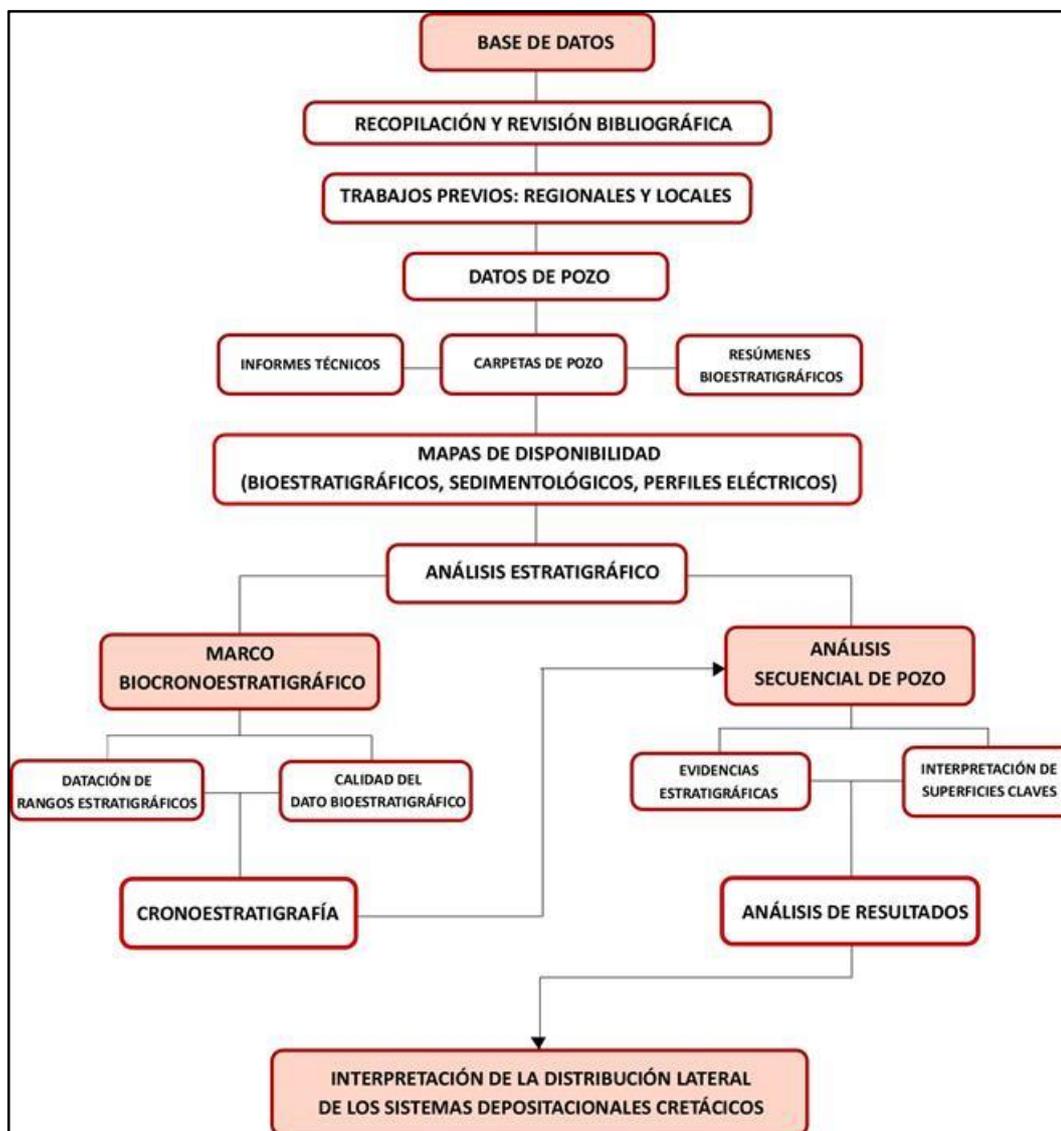


Figura 4. 1 Flujograma de la metodología empleada durante el desarrollo de la investigación.

4.7 Base de datos

Se generó una base de datos multidisciplinaria, cuyo objetivo principal fue organizar y documentar información de importancia para cada una de las distintas disciplinas (bioestratigráfica, sedimentología, y perfiles eléctricos) y herramientas a utilizar durante esta investigación.

4.7.1 Recopilación y revisión bibliográfica

Previo al inicio de la investigación se realizó una revisión de estudios realizados tanto a nivel regional como local, con el fin de conocer el área de estudio de cada trabajo, objetivos, datos utilizados, modelos geológicos definidos y el aporte de los mismos a este trabajo de investigación. Se consultaron así los trabajos: Proyecto Orinoco Magna Reserva, 2013; Parra *et al.*, 2018; Berrios *et al.*, 2017; Cabrera *et al.*, 2019. En el capítulo III se presenta una síntesis de cada uno de estos estudios.

4.7.2 Datos de pozo

Esta etapa comprende la localización y recopilación de toda la información básica contenida en carpetas de pozo, como: identificador único de pozo (Unique Well Identifier- UWI), nombre del pozo, nombre del campo, coordenadas y dátum de referencia

Durante esta búsqueda de información se estableció un criterio para la selección de los pozos a considerar durante esta etapa: Los pozos deben perforar la sección Cretácica y llegar al basamento de ser posible.

Para la compilación de dicha información el Proyecto Cretácico suministró una base de datos en formato *Excel* con un total de 209 pozos pertenecientes a la Faja Petrolífera del Orinoco, considerados según el criterio antes mencionado. Mediante dicha base de datos se recopilaron los datos generales de 77 pozos seleccionados para este estudio, ubicados en los campos: Norte Zuata, Iguana Zuata y Zuata principal, pertenecientes al Bloque Junín; añadiéndose a este total un pozo control, ubicado fuera del área, en el Campo El Toco. (Figura 4.2)

Se realizó de igual manera una revisión en la carpeta del Proyecto Cretácico, ubicada en el servidor de PDVSA, con la finalidad de recopilar las carpetas de pozos existentes e informes técnicos, lo que permitió localizar la información de coordenadas, profundidad final, elevación de la mesa rotaria y así como información sedimentológica (descripción litológica de muestras de canal, núcleo y pared), disponibilidad de *Masterlog*, informes geológicos, informes bioestratigráficos e información referente a los revestidores, tanto los diámetros como las profundidades, los cuales fueron de gran importancia para la interpretación de los rangos estratigráficos.

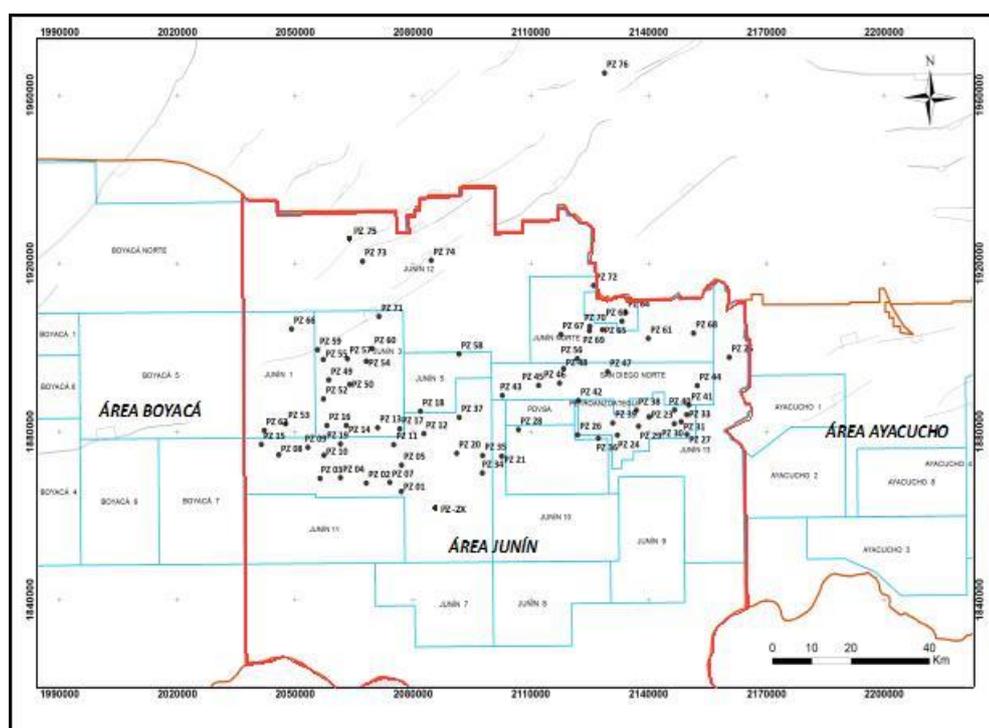


Figura 4. 2 Pozos iniciales.

4.7.3 Datos bioestratigráficos

Esta etapa se enfoca en la revisión de la información bioestratigráfica disponible, la cual fue empleada para la interpretación de rangos estratigráficos y

paleobatimetría. Inicialmente se consultaron los estudios previos ya mencionados con la finalidad de registrar la cantidad de pozos en el área que poseen análisis bioestratigráficos.

A partir de esto se generó un mapa haciendo uso de la aplicación *ArcGIS* (Figura 4.3) en el que se registran los siguientes resultados: El Proyecto Magna Reserva, 2013, realizó estudios bioestratigráficos en 21 pozos que coinciden con los seleccionados para este estudio, Parra *et al.*, 2018, tiene un total de ocho pozos con estudios bioestratigráficos en el área, Berrios *et al.*, 2017, define la cronoestratigrafía del Bloque Junín a partir de resultados bioestratigráficos realizados en 41 pozos y Cabrera *et al.*, 2019, realizó estudios bioestratigráficos en 59 pozos.

Una vez obtenido este registro se procedió a validar la información bioestratigráfica de dichos pozos ubicando cartas consensos, resúmenes bioestratigráficos, cartas florales y/o cartas faunales. Durante esta búsqueda se lograron ubicar únicamente resúmenes bioestratigráficos de 60 pozos, siendo estos PZ 01, PZ 02, PZ 03, PZ 04, PZ 05, PZ 06, PZ 09, PZ 10, PZ 11, PZ 15, PZ 17, PZ 18, PZ 19, PZ 20, PZ 21, PZ 22, PZ 23, PZ 24, PZ 25, PZ 26, PZ 27, PZ 28, PZ 29, PZ 30, PZ 31, PZ 32, PZ 33, PZ 40, PZ 41, PZ 42, PZ 43, PZ 44, PZ 45, PZ 46, PZ 47, PZ 48, PZ 49, PZ 50, PZ 51, PZ 52, PZ 53, PZ 54, PZ 55, PZ 56, PZ 57, PZ 58, PZ 59, PZ 60, PZ 61, PZ 67, PZ 68, PZ 69, PZ 70, PZ 71, PZ 72, PZ 73, PZ 74, PZ 75, PZ 76 y PZ-2X, los cuales pueden ser visualizados en la figura 4.4, representando un 46,8% del total de pozos considerados para esta búsqueda.

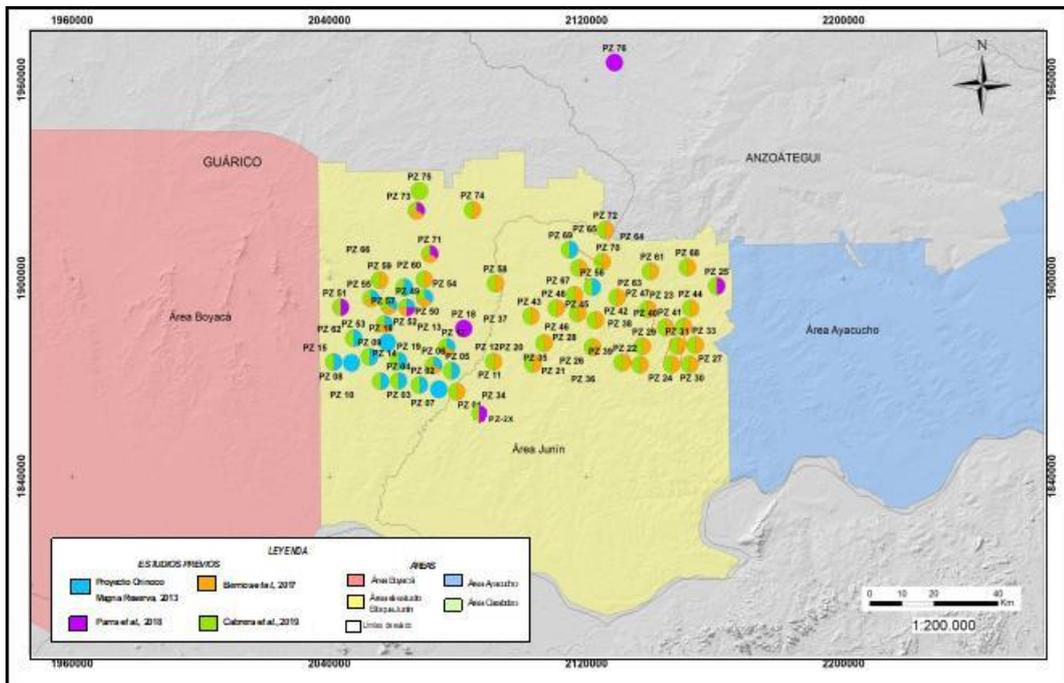


Figura 4. 3 Mapa de datos bioestratigráficos realizados en estudios previos.

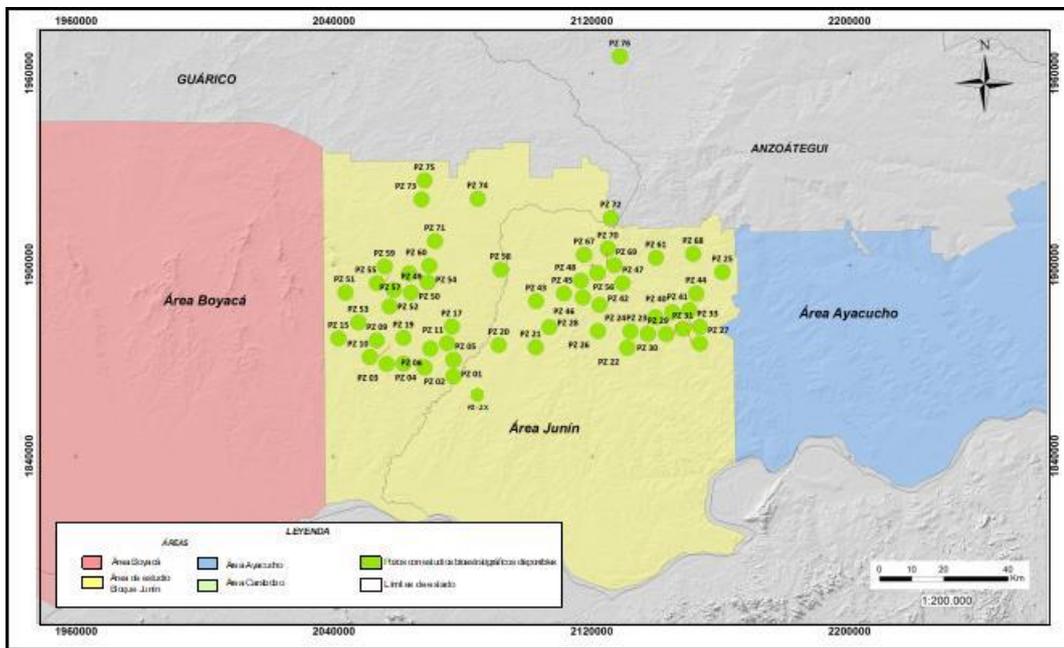


Figura 4. 4 Mapa de disponibilidad de estudios bioestratigráficos.

4.7.4 Datos sedimentológicos

La compilación del dato sedimentológico consintió en ubicar estudios de pozos en los que se hayan realizado hojas sedimentológicas, descripciones litológicas (pared, núcleo, canal), difracción de Rayos X y análisis petrográfico. La información recopilada durante esta búsqueda fue suministrada por carpetas de pozo disponibles y los estudios previo de Parra *et al.*, 2018 y Berrios *et al.*, 2017.

Mediante dicha revisión se obtuvo un total de 13 pozos con información sedimentológica siendo estos, PZ 01, PZ 22, PZ 24, PZ 32, PZ 51, PZ 53, PZ 71, PZ 73, PZ 75, PZ 42, PZ 72, PZ 76 y PZ-2X, de los cuales 11 pozos cuentan con descripción sedimentológica, cuatro pozos con estudios petrográficos, cuatro pozos con análisis de difracción de rayos X y un pozo posee hoja sedimentológica, representando un 10,14 % del total de pozos en el área. (Figura 4.5). De igual manera se registraron 17 pozos con muestras de núcleo, 30 pozos con muestras de canal y 16 pozos con muestras de pared. (Figura 4.6).

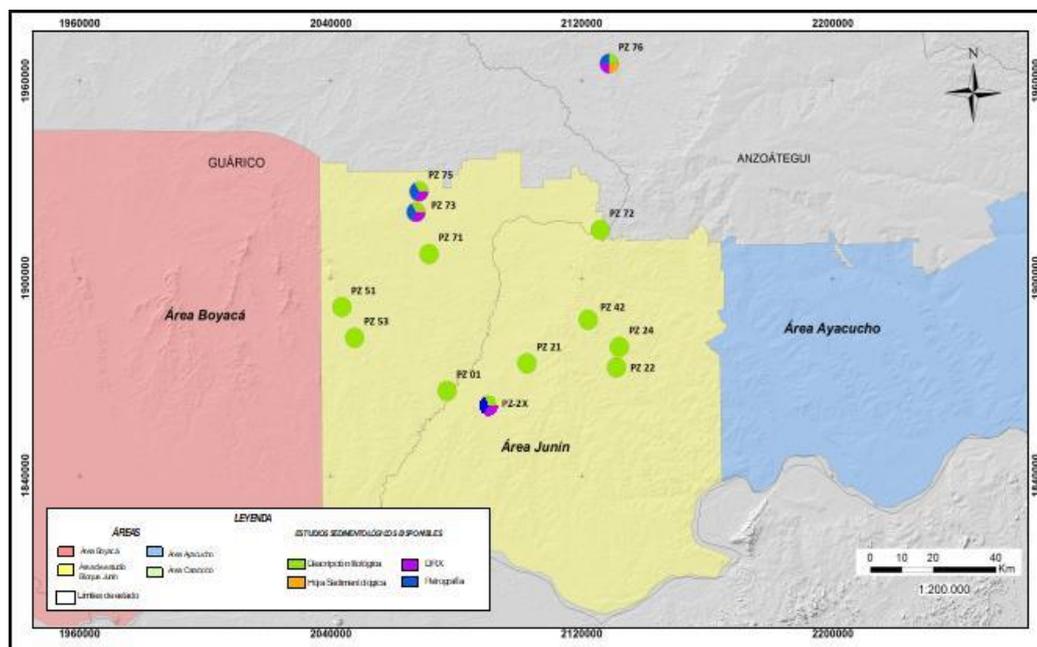


Figura 4. 5 Mapa de disponibilidad de estudios sedimentológicos.

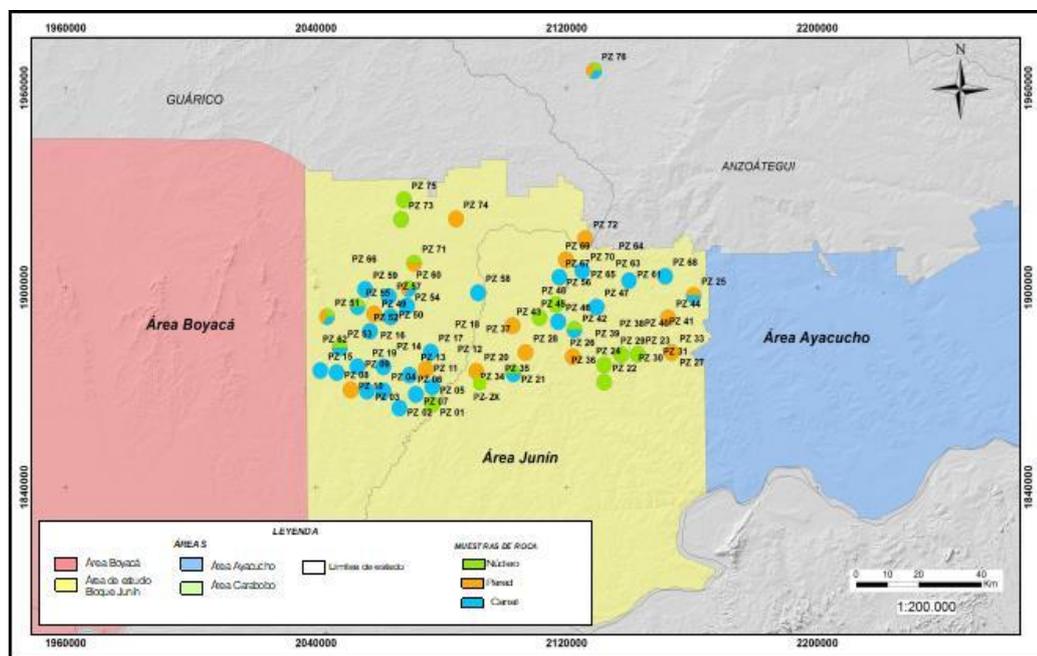


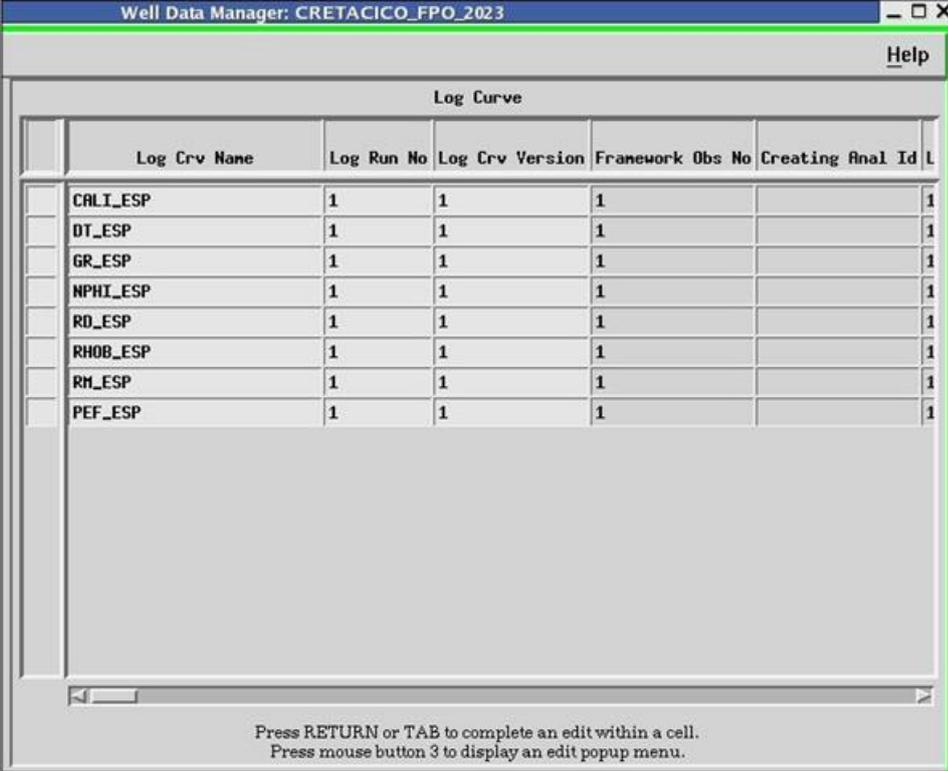
Figura 4. 6 Mapa de disponibilidad de muestras.

4.7.5 Datos de perfiles eléctricos

La búsqueda de perfiles eléctricos se llevó a cabo en la aplicación *OpenWorks* de *Landmark*, consultando el “Proyecto Cretácico”, creado con el sistema de proyección “Cónica de Lambert”, bajo el datum SIRGAS-REGVEN, con la finalidad de visualizar los pozos pertenecientes al proyecto. Así mismo por medio la herramienta *Well Data Manager* se cotejó la información de las curvas disponibles de los pozos de interés. En la Figura 4.7 se muestra la interfaz de la herramienta en la que se muestra un ejemplo de las curvas disponibles pertenecientes al pozo PZ 73.

De los 77 pozos iniciales se obtuvo una disponibilidad de curvas de 14 pozos, siendo estos: Dicha búsqueda permitió generar un inventario ordenado y

sistemático a fin de poseer un mejor control de la disponibilidad de los mismos. Cabe destacar que para esta investigación se consideró un *set* de registros constituido por Rayos Gamma (GR), Potencial Espontaneo (SP), resistividades (ILD, ILM, LLS, LN, LLD, RD, RS), densidad (NPHI, RHOB) y sónico (DT), en la figura 4.8 se muestra el mapa generado en la aplicación *ArcGIS* con la disponibilidad de estos registros por pozo.



Well Data Manager: CRETACICO_FPO_2023

Help

Log Curve

| Log Crv Name | Log Run No | Log Crv Version | Framework Obs No | Creating Anal Id |
|--------------|------------|-----------------|------------------|------------------|
| CALI_ESP | 1 | 1 | 1 | 1 |
| DT_ESP | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GR_ESP | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NPHI_ESP | 1 | 1 | 1 | 1 |
| RD_ESP | 1 | 1 | 1 | 1 |
| RHOB_ESP | 1 | 1 | 1 | 1 |
| RH_ESP | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PEF_ESP | 1 | 1 | 1 | 1 |

Press RETURN or TAB to complete an edit within a cell.
Press mouse button 3 to display an edit popup menu.

Figura 4. 7 Curvas disponibles del pozo PZ 73.

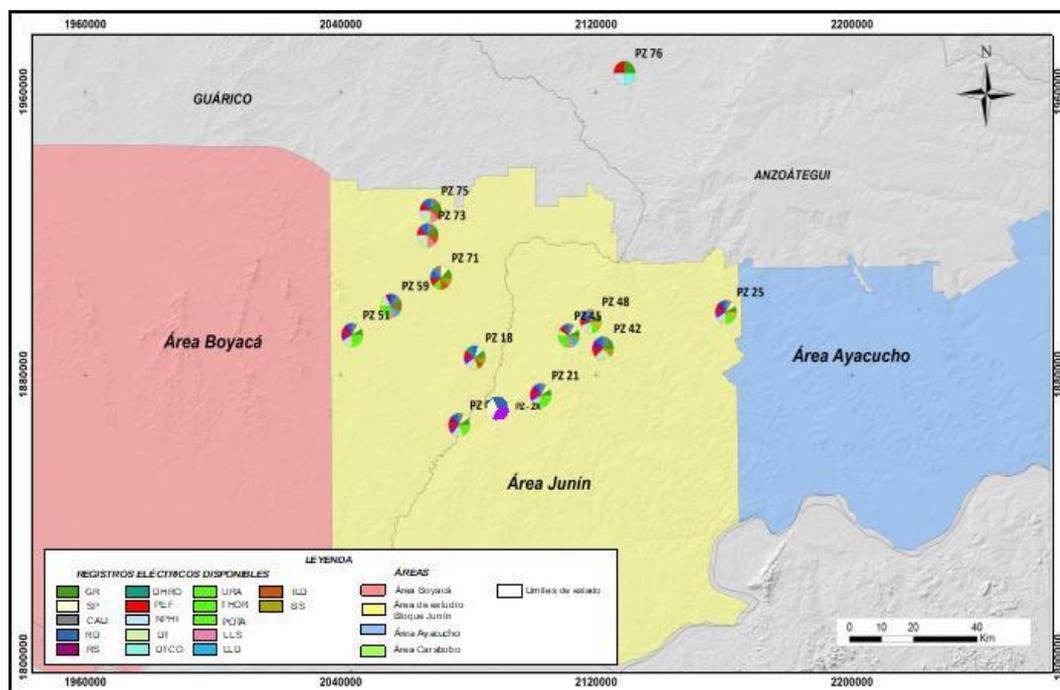


Figura 4. 8 Mapa de disponibilidad de registros de pozos.

4.8 Marco biocronoestratigráfico

Una vez registrada la base de datos, se da inicio a la fase del marco biocronoestratigráfico con el objetivo de homologar las columnas biocronoestratigráficas existentes en el Bloque Junín, partiendo de la recopilación, revisión e interpretación de la información bioestratigráfica disponible.

4.8.1 Selección de pozos

. De un total de 60 pozos con información bioestratigráfica disponible, se consideraron 20 pozos para la generación del marco biocronoestratigráfico distribuidos en toda el área de estudio, siendo estos los siguientes: PZ 17, PZ 19, PZ 26, PZ 27, PZ 29, PZ 30, PZ 31, PZ 44, PZ 47, PZ 49, PZ 50, PZ 53, PZ 58, PZ 59, PZ 60, PZ 61, PZ 71, PZ 72, PZ 73 y PZ 76 (Figura 4.9).

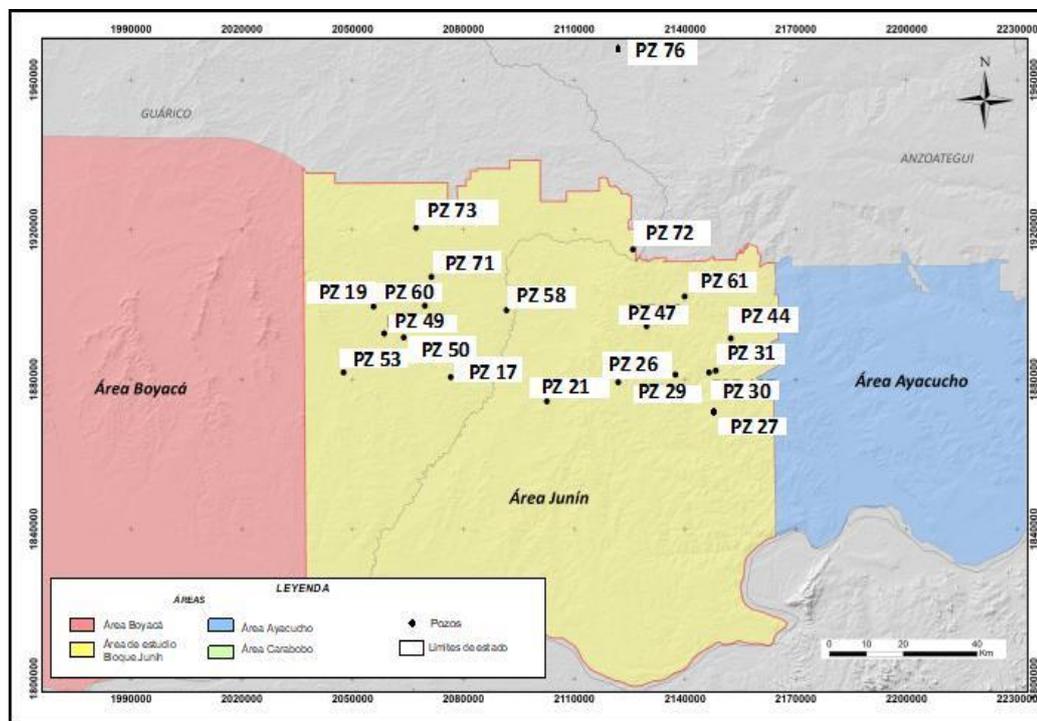


Figura 4. 9 Pozos seleccionados para el marco biocornoestratigráfico.

4.8.2 Datación de Rangos estratigráfico

Esta etapa consiste en determinar los rangos estratigráficos de los pozos previamente seleccionados, a partir de bioestratigrafía. Debido a que la información disponible bioestratigráfica se encuentra contenida en el Estudio Integrado Bioestratigráfico de alta resolución en pozos del Dominio Central y Occidental de la FPO, realizado por Cabrera *et al.*, 2019, se inició con el análisis de dicho estudio, en donde la validación y reinterpretación de sus pozos se basó en distintas publicaciones. Para la disciplina de palinología, los rangos estratigráficos de los palinomorfos se determinaron a partir de los trabajos de Tschudy (1970), Regali *et al.*, (1974), Williams y Bujak en Boli *et al.*, (1985), Van Erve (1985), Lorente (1986), Muller *et al.*, (1987), Ravn (1995), Jaramillo y Dilcher (2001), Jaramillo (2002), Helenes (2008) y Raine *et al.*, (2011).

Generando de esta manera una tabla con 38 fósiles guías utilizados para datar el Cretácico en su zona de estudio.

A partir de ello, reinterpretaron las edades en 20 pozos pertenecientes al Bloque Junín, generando resúmenes bioestratigráficos en los que especifican por cada pozo el tipo de muestra, profundidad de la misma, cronoestratigrafía, zonas bioestratigráficas, bioeventos y tipo de ambiente, tal como se muestra en el ejemplo del resumen bioestratigráfico del pozo PZ 73. (Figura 4.10)

| PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PES) | TIPO DE MUESTRA | | | CRONOESTRATIGRAFIA | | | ZONAS BIOESTRATIGRAFICAS | | | BIOEVENTOS | Cambios (S.S. - MFS) | AMBIENTES | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|---------|--------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------------|--|--------------------------------|---|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------|--------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| | CANAL | PAISADO | NUCLEO | LITOESTRATIGRAFIA | Van Er Erve (1983) | PDVSA (1983) | Intevop (2016) | CONJUNTOS DE BARRAS (1973) y Aparente (1987) | MANOFLUORACION (Muller) (1987) | | | PALINOLOGIA Muller et al. (1987) | FLUVAL ALUVAL - CONTINENTAL | Subsuelo | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | FLUVAL | ALUVAL | CONTINENTAL | NEFICO MEDIO | NEFICO ALTO | NEFICO BAJO |
| 5430' | | | | | | | | | | 5430' <i>Droedittes senonicus</i> (Coniaciense - Santoniense, Muller et al. 1987) | | | | | | | | | |
| 5500' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5600' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5700' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5800' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5850' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5900' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6000' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6030' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6050' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6100' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6150' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6200' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6240' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6300' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6330' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11760' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12700' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Leyenda:
 SB: Límite de secuencia
 MFS: Superficie de máxima inundación
 FS: Superficie de inundación
 FAD: First appearance datum (Datum de primera aparición)
 LAD: Last appearance datum (Datum de última aparición)
 Van Er Erve (1983) Zonación Palinológica Del Mesozoico En El Pozo Tigre-1 (Sección Tipo Del Grupo Temprador) Epo-7302
 Pdvsa (1983) Evaluación Exploratoria De La Faja Petrolifera Del Orinoco Área Zuata Volumen V . Libros Blancos
 Muller, J., Di Giacomo, E. De y van Erve, A.W. (1987). A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of northern South America. American Association of Stratigraphic Palynologists. Contributions Series N°. 19: 7-76.
 Solorzano E. Et Al (2001) Datos Sedimentológicos, Geoquímicos Y Bioestratigráficos Del Pozo NZZ-88x En El Intervalo 6559'-14712' Inc-8767.2001

Figura 4. 10 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 73 realizado por Cabrera *et al.*, 2019.

4.8.2.1 Validación de las edades

A partir de la información aportada por los resúmenes bioestratigráficos de Cabrera *et al.*, 2019 se realizó una validación de edades. Esta validación consiste en la determinación del índice de aparición (FAD) y extinción (LAD) de los especímenes presentes en cada uno de los intervalos o profundidades definidos en los resúmenes bioestratigráficos, con el objetivo de corroborar las edades o rangos reinterpretados. En la figura 4.11 se muestra un ejemplo de la validación de edades del pozo PZ 30.

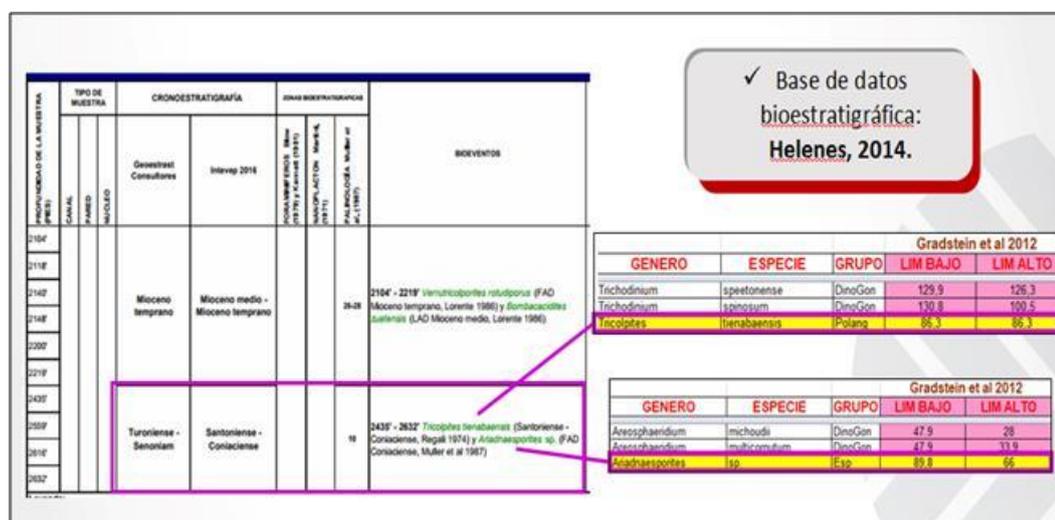


Figura 4. 11 Ejemplo de la validación de edades del pozo PZ 30 a partir de su resumen bioestratigráfico.

Para establecer esta validación se utilizaron bases de datos bioestratigráficas en formato digital. La primera base de datos bioestratigráfica consultada fue la de Muller 1985 elaborada por Sánchez, D., 2015, quien ajustó los millones de años de los especímenes a la escala del tiempo geológico de Gradstein *et al.*, 2012 considerando la duración de una determinada época/estado/edad, ajustado a un cron o a un evento bioestratigráfico conocido. Debido a que los marcadores bioestratigráficos presentes en los pozos de la zona

de estudio son palinomorfos y dinoflagelados se consultaron específicamente los apéndices de Sánchez, D., 2015 correspondientes a dichas disciplinas.

La segunda base de datos bioestratigráfica consultada fue la elaborada por Helenes, 2014, quien realizó una recopilación de acuerdo a los siguientes autores: para Dinoflagelados se tomaron de Williams *et al.*, 1985, Williams *et al.*, 1993., Haq *et al.*, 1988, Helby *et al.*, 1987, Powell, 1992 y Stover *et al.*, 1987 y para palinomorfos continentales, se tomaron de Lorente, 1986, Muller *et al.*, 1987 y Pares *et al.*, 1974. Un ejemplo de estas bases de datos consultados se presenta en la Figura 4.12 y la Figura 4.13.

| APENDICE IX.b. MAGNETOCRONOLOGÍA DE SELECTOS POLEN Y ESPORAS DEL SANTONIENSE AL TURONIENSE DEL NORTE DE SUR AMÉRICA (Sánchez, D., 2015) | | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------|--------------------|--------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------|
| CALIBRACIÓN DE SELECTOS PALINOMORFOS DEL TURONIENSE AL SANTONIENSE UTILIZANDO EL MÉTODO DE CORRELACIÓN GRÁFICA. | | | | | | | | | | |
| EVENTOS BIOESTRATIGRÁFICOS APROXIMADOS DE SELECTOS POLEN Y ESPORAS DEL SANTONIENSE AL TURONIENSE DEL NORTE DE SUR AMÉRICA (Muller <i>et al.</i> , 1987) | | | | | | | Gradstein <i>et al.</i> (2012) | | | |
| No. | Taxa (Datum) | T (Tope) LAD | B (Base) FAD | Edad (Ma) | ZONACIÓN | | Edad (Ma) | Edad / Estado | Epoca | Periodo |
| | | | | | SUPERZONAS | ZONAS | | | | |
| 1 | <i>Droseridites senonicus</i> | X | | 83,60 | V | <i>Droseridites senonicus</i> | 10 | 89,80 | SANTONIENSE - CONIACIENSE | TARDIO CRETÁCICO |
| 2 | <i>Senegalosporites petrobasi</i> | X | | 83,60 | | | | | | |
| 3 | <i>Ariadnaesporites -complex</i> | | X | 89,80 | | | | | | |
| 4 | <i>Gabonisorites vigourouxii</i> | | X | 89,80 | | | | | | |
| 5 | <i>Bahlaporites reticularis</i> | | X | 89,80 | | | | | | |
| 6 | <i>Monocolpitenites spheroidites</i> | | X | 89,80 | | | | | | |
| 7 | <i>Pailastephanoporites brasiliensis</i> | | X | 89,8 | | | | | | |
| 8 | <i>Droseridites senonicus</i> | | X | 89,80 | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | |

Figura 4. 12 Ejemplo de la magnetocronología de selectos Palinomorfos (Polen y Esporas) del Cretácico (Muller *et al.*, 1987 en Sánchez, D., 2015).

| GENERO | ESPECIE | GRUPO | LIM BAJO | LIM ALTO | Aparicion | Extincion |
|--------------------|----------------|----------|----------|--------------|--------------------|-----------------|
| Achilleodinium | biformoides | DinoGon | 66 | 28 | Pal tem (65) | Oli tem (28.5) |
| Achomosphaera | alcicornu | DinoGon | 66 | 16 | Pal tem (65) | Mio tem (16.4) |
| Achomosphaera | andalousiensis | DinoGon | 23 | 0 | Mio tem (23.8) | Rec (0) |
| Achomosphaera | crassipellis | DinoGon | 102 | 2.59 | Alb tar (102) | Plio (1.77) |
| Achomosphaera | fenestra | DinoGon | 83.6 | 76.2 | Camp tem (83.5) | Camp med (76.2) |
| Achomosphaera | ramulifera | DinoGonS | 126.3 | 1.81 (Gelas) | Apt tem (121) | Plio (1.77) |
| Achomosphaera | sagena | DinoGonS | 102 | 23 | Alb tar (102) | Oli tar (23.8) |
| Acritarca | reticulada | Acr | 93.9 | 66 | Turo tem (93.5) | Maas tar (65) |
| Adnatosphaeridium? | membraniphorum | DinoAre | 61.6 | 47.9 | Pal tar (60.9) | Eoc tem (49) |
| Adnatosphaeridium | multispinosum | DinoAre | 56 | 37.8 | Eoc tem (54.8) | Eoc med (37) |
| Adnatosphaeridium | robustum | DinoAre | 66 | 33.9 | Pal tem (65) | Eoc (33.7) |
| Adnatosphaeridium | tutulosum | DinoAre | 117 | 91.9 | Apt tar (117) | Turo tem (91.9) |
| Adnatosphaeridium | vittatum | DinoAre | 56 | 47.9 | Eoc tem (54.8) | Eoc tem (49) |
| Aequitriradites | spinulosus | Esp | 145 | 100.5 | Berr tem (144.2) | Alb tar (99) |
| Afropollis | jardinus | Polang | 130.8 | 93.9 | Barrem tem (145) | Ceno tar (93) |
| Afropollis | zonatus | Polang | 129.9 | 100.5 | Barrem tar (124.8) | Alb tar (98.9) |
| Aiora | fenestrata | Dino | 93.9 | 86.3 | Turo tem (93.5) | Coni tar (85.8) |
| Aldorfia | deflandrei | DinoGon | 107.6 | 72.1 | Alb tar (102) | Camp (71.3) |
| Alisocysta | circumtabulata | DinoGon | 72.1 | 47.9 | Maas (71.3) | Eoc tem (49) |
| Alisocysta | margarita | DinoGon | 66 | 23 | Pal tem (65) | Oli tar (23.8) |
| Alisocysta | reticulata | DinoGon | 69.42 | 61.6 | Maas tar (69.2) | Pal tem (60.9) |

Figura 4. 13 Ejemplo de la base de datos de palinomorfos recopilada por Helenes, 2014.

Una vez validado el índice de aparición y extinción de los marcadores bioestratigráficos, se procedió a hacer la reinterpretación por pozo de los rangos estratigráficos dentro del Cretácico. Teniendo establecido el rango estratigráfico por intervalo o profundidad estudiada fue ajustado a la escala del tiempo geológico de Gradstein *et al.*, 2012. Es importante resaltar que existen algunos casos en los cuales dos o más especímenes son empleados para definir un rango bioestratigráfico.

Las reinterpretaciones hechas se establecieron en un formato de tablas, los cuales constan de tres columnas en donde se indican, de izquierda a derecha, las profundidades o intervalos estudiados, el rango estratigráfico y finalmente los marcadores bioestratigráficos en los que se indican los especímenes que permitieron determinar el rango estratigráfico; cabe destacar que en esta reinterpretación no se especifican las edades numéricas de los rangos establecidos. Al momento de elaborar las tablas se definió una nomenclatura para las diferentes disciplinas, quedando establecidas de la siguiente manera: + = Palinomorfos, ~ = Foraminíferos y * = Nanofósiles calcáreos. Adicionalmente se hizo una discriminación de acuerdo al tipo de muestra analizada, donde se utiliza (N) para indicar que las muestras en el intervalo o profundidad estudiada es una muestra de

núcleo, (P) para indicar que la muestra es de pared y (C) para indicar muestra de canal. En la figura 4.14 se muestra un ejemplo con el resumen bioestratigráfico del pozo PZ 73.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|----------------------------|--|
| 4180' - 5713' | Santoniense- Coniaciense | P: + <i>Tricolporopollenites complex</i> (Cenomaniense-Santoniense, Anton Van Erve 1985 y Robertson Research 1981) |
| | | P: + <i>Araucariacidites SCI 265s</i> sp. (Coniaciense-Santoniense, Robertson Research 1981) |
| | | P: + <i>Tricolpites reticulominutus</i> (FAD Coniaciense, Taxon) |
| 5853' | Cenomaniense- Berriasiense | P: + <i>Classopolis</i> sp. (Berriasiense- Cenomaniense, Muller 1987) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

Figura 4. 14 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 73.

4.8.3 Calidad del dato bioestratigráfico

Una vez establecidos los rangos estratigráficos de los pozos se procedió a determinar el grado de confiabilidad de dicha información bioestratigráfico. Para ello se estableció una matriz de calidad del dato desarrollada en conjunto con el Proyecto Cretácico FPO, siendo esta una modificación de la original definida por Santiago *et al.*, 2015 en el Instructivo para la Aplicación de la Matrices de Calidad del Dato en proyectos Exploratorios.

En este sentido se propone una matriz en función de las variables que pueden ser aplicadas en el área de estudio de acuerdo a los datos disponibles, es decir, en función de la información bioestratigráfica y sedimentológica recopilada (Figura 4.14). Las variables son las siguientes:

Tipo de muestra analizada, dividida en núcleo, canal y pared. En cuanto al tipo de muestra, se identificó una predominancia de muestras de pared y núcleos; destacando que de los núcleos no se especifica su tope y base por lo que no se tiene precisión de su longitud. Densidad de muestreo, para ello se consideró el espaciamiento subdividiéndose en dos tipos: a) especifica el muestreo (sistemático, detallado, variable o puntual) y b) no especifica el muestreo (intervalo).

Considerando todos estos factores, se realizó una propuesta de matriz de nivel de confianza aplicando el código alfanumérico y colores del semáforo, establecidos por Santiago *et al.*, 2015, para calificar el nivel de confianza de los datos en los pozos analizados (Figura 4.15).

| MATRIZ DEL NIVEL DE CONFIANZA DE LA DATACIÓN BIOESTRATIGRÁFICA DEL INTERVALO CRETÁCICO DEL BLOQUE DE JUNÍN, FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO HUGO CHÁVEZ FRÍAS (MODIFICADO DE Santiago <i>et al.</i> , 2014 en Griffit <i>et al.</i> , 2023 (Proyecto Cretácico FPO)) | | | |
|---|-----------------------------|------------------------|----------------------|
| VARIABLES CLAVES | DATACIÓN BIOESTRATIGRÁFICA | | |
| | Periodo o Limite de Periodo | Época o Rango de Época | Edad o Rango de Edad |
| Núcleo, Pared (muestreo sistemático y detallado) | A4 | V7 | V1 |
| Núcleo, muestras de canal (muestreo variable), con o sin muestras de pared | A5 | V8 | V2 |
| Muestras de canal (espaciamiento ≤ 100 pies), con o sin núcleo y/o muestras de pared | A5 | V8 | V2 |
| Núcleo (s), pared (muestreo semidetallado) | A6 | V9 | V3 |
| Muestras de canal (espaciamiento > 100 y ≤ 300 pies, con o sin muestras de pared) | A6 | V9 | V3 |
| Muestras de canal (espaciamiento > 300), con o sin muestras de pared | A7 | A1 | V4 |
| Muestras de pared, canal, núcleo o afloramiento puntual (1 ó 3 muestras) | R1 | A2 | V5 |
| Muestras de canal, pared, afloramiento y/o núcleo en un intervalo de profundidad (no especifica muestreo) | R2 | A3 | V6 |
| Nivel de incertidumbre de la datación bioestratigráfica | | | |
| VERDE | AMARILLO | ROJO | |
| V1 - V3= EXCELENTE | A1- A3= BUENA A MODERADA | R1- R2= BAJA | |
| V4 - V9= BUENA | A4- A7=MODERADA A BAJA | | |

Figura 4. 15 Matriz de calidad del dato Bioestratigráfico.

A continuación se muestra un ejemplo de la recopilación de la información disponible y la aplicación de la matriz de calidad del dato bioestratigráfico en dos (2) pozos del área. (Figura 4.16).

| POZO | Tipo de muestra | | | Profundidad Núcleo | Intervalo | Espaciamiento (pies) | Muestra no específica o muestra puntual | Biomarcadores | Datación estratigráfica | Nivel de calidad del dato |
|-------|-----------------|-------|-------|--------------------|------------------------------------|---|---|--|-------------------------------|---------------------------|
| | Núcleo | Pared | Canal | | | | | | | |
| PZ 71 | | X | | | 2886'-4500' 2886', 4425', 4500' | No específica donde esta ubicada la muestra que reporta el biovento | 3 | Tinopolipollentea complex | Maastrichtiense - Santoniense | V5 |
| | | | | | 4832'-6000' 4832', 4836', 6000' | No específica donde esta ubicada la muestra que reporta el biovento | 3 | Mitoniaportites sp. Ephedripta sp. Clasopollis sp. | Cenomaniense - Aptiense | |
| PZ 21 | X | | | 1925' | | | 2 | Deftoidospora mezozoica | Maastrichtiense - Coniaciense | V2 |
| | | | | 1955' | | | | | | |
| | | | | 1976' | | | | | | |
| | | | | 1980' | | | | | | |
| | | | | 1984' | | | | | | |

Figura 4. 16 Aplicación de la matriz de calidad del dato bioestratigráfico.

4.8.4 Cronoestratigrafía del área

Una vez validados y reinterpretados los resúmenes bioestratigráficos, se establecen los rangos estratigráficos que fueron bien definidos en el intervalo Cretácico a partir del análisis de los datos bioestratigráficos. Posteriormente se describen, tomando en consideración los marcadores bioestratigráficos, indicando la primera (LAD) y última (FAD) aparición.

4.9 Análisis estratigráfico secuencial

El análisis estratigráfico secuencial de este estudio se fundamentó en la metodología establecida en Santiago *et al.*, 2015. La aplicación de la misma viene dada debido “la dificultad que presenta la litoestratigrafía para correlacionar y predecir distribución de secuencias en grandes distancias, y la limitación a la hora

de analizar la evolución del relleno y la geodinámica de una cuenca.” De esta forma se establece el uso de la estratigrafía secuencial tomando como premisa lograr identificar “sistemas depositacionales en grandes distancias y con el menor número de datos” (Santiago *et al.*, 2015).

Es así, que considerando a Santiago *et al.*, 2015, el análisis estratigráfico secuencial del Bloque Junín parte de la integración de datos multidisciplinarios enfocándose principalmente en el reconocimiento de superficies regionales de primer orden mediante el análisis de patrones de apilamiento en registros de pozos, con la finalidad de definir las discordancias regionales (SB) y Máximas Superficies de Inundación (MFS) en el área, estableciendo de esta manera evidencias estratigráficas, apoyada en la sedimentología e información bioestratigráfica de cada pozo. Esta técnica fue respaldada por la calibración sísmica-pozo dada del trabajo previo realizado por Parra *et al.*, 2018, en el que "se identificaron los paquetes de reflexiones con los contrastes de amplitud más representativos en la sísmica, así como también, una buena continuidad y contenido de frecuencia. El criterio para realizar la calibración sísmica-pozo, fue considerar las superficies sísmicas más representativas con mayores contrastes de impedancia, posiblemente asociadas a las discordancias regionales interpretadas. Las ondículas utilizadas para la convolución fueron extraídas de a sísmica en la ventana de interés y en algunos casos se utilizaron varias odículas determinando el contenido de frecuencia para intervalos específicos." Finalmente se interpretaron las superficies claves que permitieron identificar las secuencias presentes en el área y definir los sistemas depositacionales.

4.9.1. Definición de transectos

Los transectos de estudio fueron definidos en función del cumplimiento de tres parámetros: 1) pozos con disponibilidad de datos bioestratigráficos, 2) pozos

con disponibilidad de registros eléctricos y 3) pozos que hayan atravesado la columna Cretácica completa.

En base a esto, y tomando en consideración el aporte de sedimentos en el área, se establecieron cinco (5) transectos: dos perpendiculares a la sedimentación en dirección Oeste- Este (transectos A-A' y B-B'), dos en dirección norte-sur (transectos D-D' y C-C') y un transecto ubicado en la periferia del Graben de Espino (transecto E-E'). En la figura 4.17 se visualizan dichos transectos.

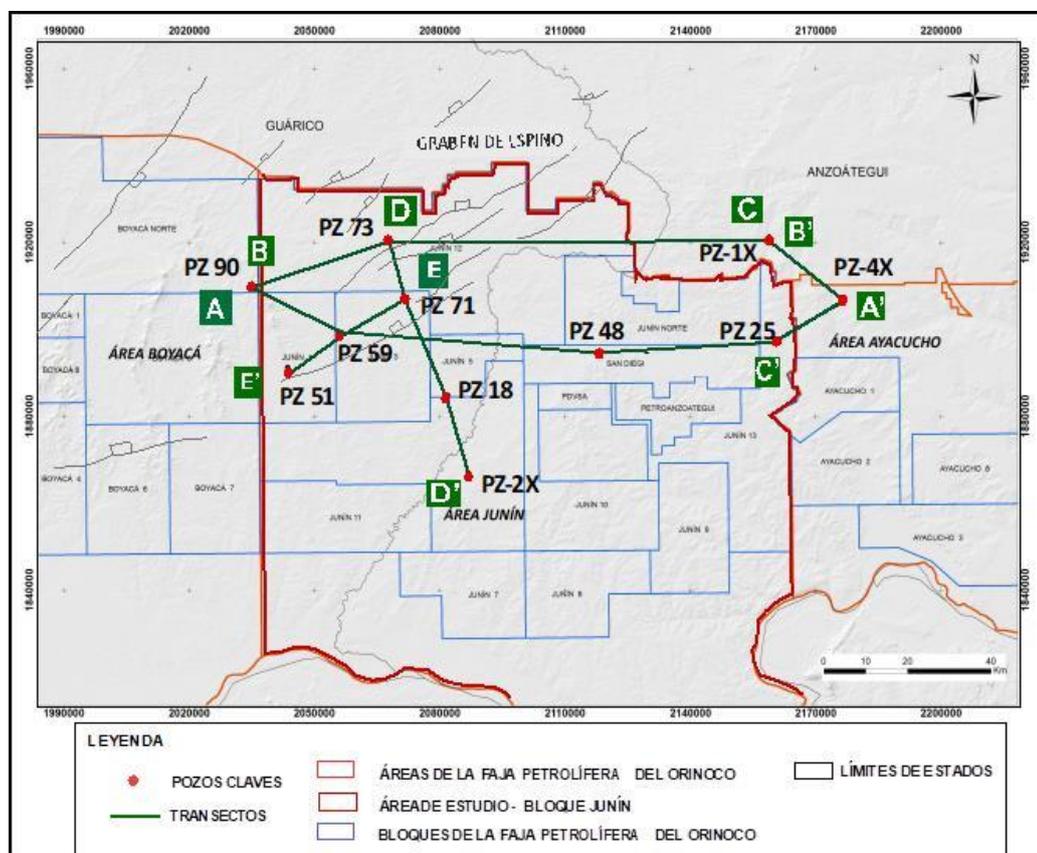


Figura 4. 17 Mapa de transectos del área de estudio.

4.9.2 Evidencias estratigráficas

4.9.2.1 Análisis de modelos secuenciales previos

Con el propósito de entender e identificar las superficies interpretadas por trabajos previos en el Cretácico, se realizó un análisis de las superficies claves y de los modelos secuenciales aplicados en los estudios realizados por Parra y Berrios.

Parra *et al.*, 2018 en el ESP Guárico, utilizaron el modelo de jerarquía de secuencias planteado por Catuneanu *et al.*, 2002, donde al desconocer con precisión la duración de los ciclos estratigráficos en millones de años, los órdenes de las secuencias (1er, 2do, 3er orden...) y límites de secuencias son asignados tomando en cuenta su importancia relativa en la cuenca, dependiendo del orden de ciclicidad (baja vs. alta frecuencia), su mayor o menor extensión y o la presencia de controles técnicos, eustáticos y climáticos. De esta forma aplicó el modelo de secuencia genética de Galloway 1989, en el que se establece que entre dos superficies de máxima inundación se encuentra una secuencia genética. Es así que en este estudio fueron identificadas cuatro Superficies de Máxima Inundación (base a tope: MFS_SGI, MFS_SGII, MFS_SGIII y MFS_SGIV), permitiendo establecer tres Secuencias Genéticas (base a tope, SGI, SGII y SGII) en el Cretácico. Dichas superficies y secuencias pueden ser evidencias en el pozo LPZ-5X de su estudio. (Figura 4.18).

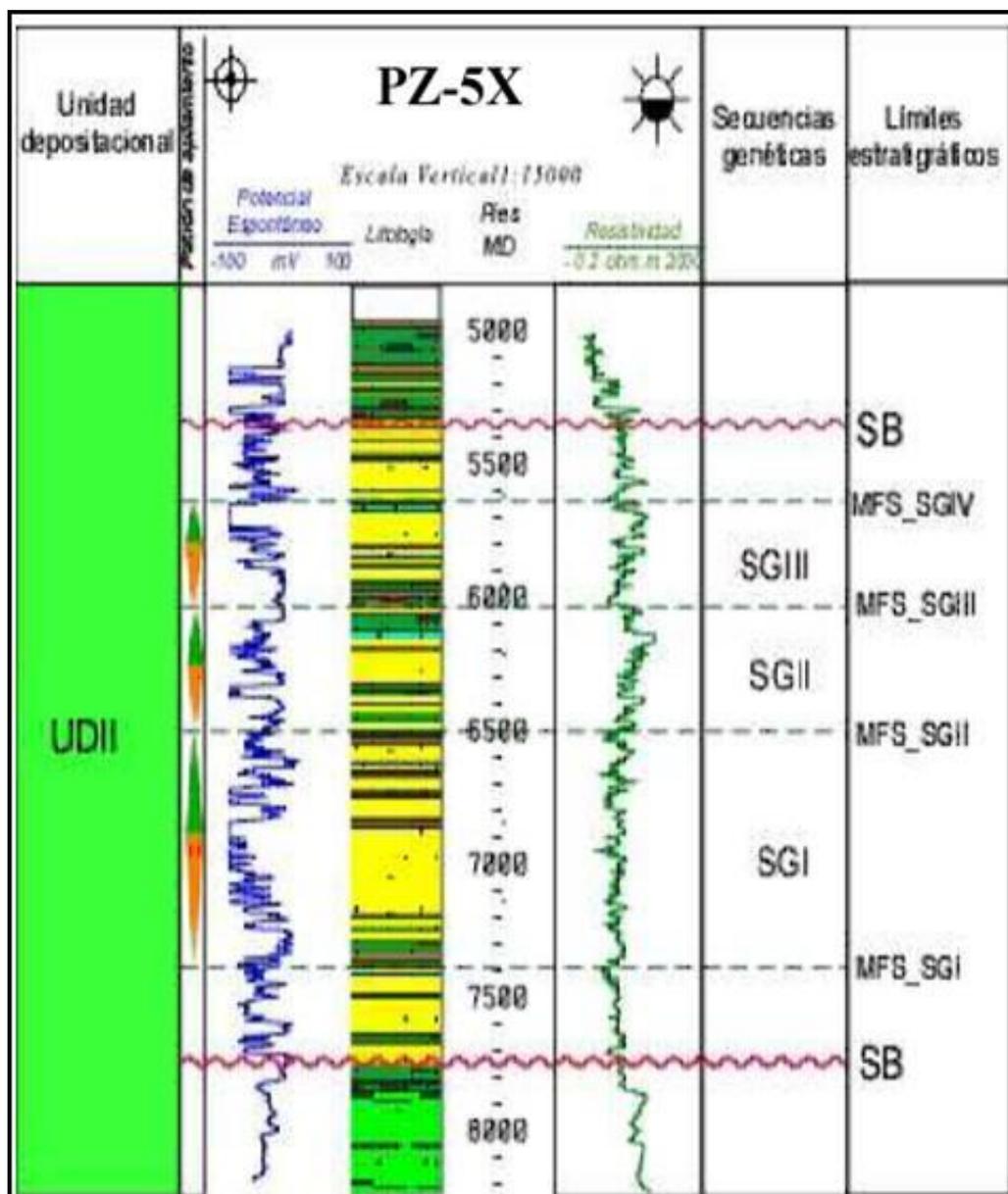


Figura 4. 18 Evidencias estratigráficas del pozo PZ-5X realizadas por Parra *et al.*, 2018.

Por otro lado, Berrios *et al.*, en el estudio de Oportunidades tempranas en el Cretácico de la FPO, establecen superficies límites independientes de los modelos de análisis estratigráfico secuencial (análisis secuencial deposicional, genético y de tipo T-R) basado solo en características físicas y genéticas observadas en los datos de núcleos, perfiles de pozos y sísmica. Por lo que, específicamente en el Bloque Boyacá utiliza el modelo de secuencia genética de Galloway 1989,

identificando tres 3 superficies de máxima inundación (base a tope: MFS_K1, MFS_K2 y MFS_K3) y 2 dos secuencias genéticas (base a tope: K2 y K3). Sin embargo, hacia el área de interés de este estudio, en el Bloque Junín, aplica el mismo modelo de Galloway 1989, en conjunto con el modelo de Secuencia Transgresiva-Regresiva (Embry y Johannessen, 1992) estableciendo Superficies de Inundación y Superficies de Máxima Regresión.

Una vez analizados los modelos secuenciales se realizó una comparación de profundidades de las superficies identificadas tanto por Berrios *et al.* 2017, como por Parra *et al.*, 2018 esto con la finalidad de visualizar las diferencias y o coincidencias existentes entre sus límites de superficies. Este ejercicio se realizó en el pozo PZ 73, evidenciando la diferencia entre las discordancias que delimitan el Cretácico, así como la diferencia en los límites de las superficies interpretadas debido a la escala de cada trabajo (Figura 4.19).

A partir de ello se estableció una revisión del marco estratigráfico del Bloque Junín establecido por Berrios *et al.*, 2017, considerando su información bioestratigrafía, con la finalidad de calibrar la extensión de las secuencias interpretadas en relación con la escala geológica del tiempo geológica de Gradstein 2012. Es así que, a partir de la cronoestratigrafía del área presentada por Berrios *et al.*, 2017, se identificaron los rangos de edades correspondientes a las secuencias, permitiendo compararlas con las secuencias establecidas por Parra *et al.*, 2018. Esta revisión o calibración de edades se presenta en el apéndice A.

| BLOQUE JUNÍN | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------|---------------------------------|-----------|------------|---------------|-----------|--|---------------|-----------|
| POZO | Cronoestratigrafía | ESP GUÁRICO Parra et al., 2018 | | | | | INTEVEP Berrios et al., 2017 | | | | | | | |
| | | Unidad Depositacional | Secuencia Genética | SUPERFICIE | MD | TVD | Unidad Sedimentaria | SECUENCIA | SUPERFICIE | TOPE (MD) | | | | |
| PZ 73 | Oligoceno | UDIV_FG | | Base SDI ESP | 2400.0000 | 2400.0000 | UK1 | | | LS K/T | 4415.9102 | | | |
| | | | | Base SD0 ESP | 3155.0000 | 3155.0000 | | | | SI K1= MFS K4 | 4588.8477 | | | |
| | | | | MFS SD 27.6 ESP | 4183.0000 | 4183.0000 | | | | SMR K1 | 4616.0938 | | | |
| | | | | LS K2 | 4826.3281 | | | | | | | | | |
| | Cretácico | UDII | SGIII | Base UDIV ESP | 4760.0010 | 4760.0010 | | | | | | | SI K2= MFS K3 | 4877.7441 |
| | | | | MFS SGIV ESP | 4904.4200 | | | | | | | | SMR K2 | 4890.1367 |
| | | | | | | | | | | | | | LS K3 | 5418.0957 |
| | | | | MFS UDII 88.8 ESP | 5470.0000 | 5470.0000 | | | | | | | SI K3= MFS K2 | 5436.9043 |
| | | | | MFS SGIII ESP | 5470.0000 | 5470.0000 | | | | | | | SMR K3 | 5455.4492 |
| | | | | | | | | | | | | | LS K4 | 5884.0918 |
| | | | | | | | | | | | | | SI K4= MFS K1 | 5913.2715 |
| | | | | | | | | | | | | | SMR K4 | 5918.5449 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Base UDII ESP | 6526.0000 | 6526.0000 | | | | LS PREK | 6137.2002 | | | | |

| LEYENDA | LEYENDA |
|--|---|
| UDIV_FG= Unidad Depositacional IV Foredeep Guánico | UK= Unidad Sedimentaria Cretácico |
| UDII= Unidad Depositacional II | SI= Superficie de inundación |
| SGIII= Secuencia Genética III | SMR= Superficie de Máxima Regresión |
| SGII= Secuencia Genética II | LS= Límite de Secuencia |
| MFS= Superficie de Máxima Inundación | MFS= Superficie de Máxima Inundación |
| | LS K/T= Límite de secuencia Cretácico Terciario |
| | LS PREK= Límite de secuencia Precretácico |

Figura 4. 19 Comparación de profundidades interpretadas por Parra *et al.*, 2018 y Berrios *et al.*, 2018 para el pozo PZ 73.

4.9.2.2 Análisis de patrones de apilamiento en registros de pozos

Para la interpretación de las unidades depositacionales y secuencias de orden menor, se reconocieron superficies estratigráficas claves tales como: límites de secuencia discordantes (SB), y superficies de máxima inundación (MFS).

Para dicha interpretación se establecieron correlaciones de pozos compuestas por los registros litológicos, Gamma Ray (GR), Potencial Espontáneo (SP) y Resistividades (profundas, medias y cortas) principalmente y como apoyo se añadieron las curvas de Sónico (DT) y Densidad (RHOB), de acuerdo a la selección de pozos previamente explicada.

Para realizar el análisis secuencial se integró el dato bioestratigráfico compuesto por los rangos estratigráficos previamente interpretados y la paleobatimetría disponible de los pozos seleccionados, posteriormente a ello se

integró la interpretación de los patrones de apilamiento que permitieron identificar discordancias en cada pozo, las cuales se fueron correlacionando con los pozos próximos, logrando identificar discordancias regionales (SB) y superficies de máxima inundación (MFS).

Los límites de secuencia discordantes (SB) identificados a partir de correlaciones, fueron establecidos por Parra *et al.*, 2018, a partir de “la identificación de hiatus estratigráficos y cambios abruptos en los patrones de apilamiento de las curvas de Gamma – Ray y potencial espontáneo (en ausencia de Gamma Ray), acompañados de marcadas variaciones del tiempo de tránsito en el registro sísmico y/o cambios en los valores de densidad - porosidad de formación en el *set* de registros Densidad – Neutrón, que puede asociarse a cambios litológicos tales como una sucesión de areniscas de grano grueso a medio con interacciones carbonosas en contacto con areniscas de grano fino a muy fino con intercalación de glauconitas con calizas. Estos cambios abruptos indican una fuerte interrupción en la sedimentación con un marcado cambio de facies y paleoambientes entre los sedimentos infra y suprayacentes, asociado a una tendencia progradante / agradante, representando el cambio hacia ciclos retrogradantes asociados a transgresiones.”

Por otro lado, las superficies de máxima inundación (MFS) fueron reconocidas en los pozos como las superficies que marcaban un cambio entre los patrones de apilamientos, desde retrogradante a progradante. En registros de pozo la superficie exhibió altos valores de radioactividad (Gamma-Ray).

Es importante resaltar que las correlaciones se realizaron en la herramienta *Correlation* de la aplicación especializada *OW*. En la figura 4.20 se muestra un ejemplo de una de las correlaciones estratigráficas, en donde se observan los registros eléctricos y las distintas superficies identificadas. A partir de estas correlaciones se realizó un cuadro de evidencias del pozo PZ 59, en el que se

4.9.2.3 Modelo secuencial aplicado

La definición de los modelos secuenciales a utilizar se estableció en base a los sistemas depositacionales identificados. Por lo tanto, hacia el norte del área se adoptó el modelo de Secuencias Genéticas de Galloway, 1989, el cual utiliza superficies de inundación máxima como límites de secuencia. Uno de los principales argumentos para esta elección de superficie delimitadora es que los “principales cambios en la distribución paleogeográfica de los sistemas depositacionales y depocentros ocurren durante épocas de máxima transgresión costera” (Galloway, 1989). Basado en este modelo se identificaron secuencias genéticas de 3er orden, en las que el factor principal que controla la depositación es de tipo eustático. Sin embargo, hacia el Sur del área se estableció el modelo de alta y baja acomodación propuesto por Dahle *et al.*, (1997), que se basan en los patrones de subsidencia de un entorno tectónico y es independiente de la presencia o ausencia de influencias marinas en la sedimentación fluvial.

4.9.3 Interpretación de superficies claves

Una vez establecido el modelo secuencial en el área de estudio y siguiendo la metodología propuesta por Santiago *et al.*, 2015, se interpretan las secuencias a la escala de trabajo, identificándolas en este estudio con un nombre informal estableciendo las superficies que las delimitan así como sus espesores.

4.9.3.1 Mapas paleobatimétricos

Se generaron mapas paleobatimétricos con el fin de dar a conocer la evolución de los paleoambientes presentes en el intervalo estudiado, la orientación de la línea de costa, dirección de la fuente de sedimentos y tendencia de la distribución de los depósitos sedimentarios.

Estos mapas fueron cartografiados a nivel de las edades identificadas dentro del Cretácico. Para ello se consideró la paleobatimetría reinterpretada en los pozos de la zona, por Cabrera *et al.*, 2019. Adicional a esto, se realizó una superposición de mapas realizados por González de Juana, 1940 y Parra *et al.*, 2018 con la finalidad de observar y comparar el compartimiento de los ambientes del Cretácico interpretados por dichos autores.

A continuación, se detalla la metodología llevada a cabo para la elaboración de dichos mapas:

1. Se recopiló la información paleobatimétrica disponible para las edades del Cretácico a ser cartografiadas, Maastrichtiense, Santoniense-Coniaciense y Cenomaniense.
2. En un mapa base que contiene el área de estudio, se plotearon los pozos con información paleobatimétrica disponible.
3. Se le asignó la paleobatimetría registrada en la edad para cada pozo, ya fuera exacta o en rango.
4. A partir de la información paleobatimétrica ya plasmada en el mapa base, se procedió a la interpretación de bandas paleobatimétricas.

Los mapas paleobatimétricos permiten inferir a escala regional, la orientación de la línea de costa, las profundidades de agua, dirección de la fuente de sedimentos y la tendencia de la distribución de los depósitos sedimentarios. Los valores de paleo profundidades (metros) utilizados fueron determinados por análisis de foraminíferos bentónicos, de acuerdo a los propuestos por Van Morkhoven *et al.*, 1986 y Sánchez, 2010 (Figura 4.19).

(Datum levels de van Morkhoven et al., 1986 y Sánchez, D (2010))

| Continental | Transicional | Nerítico | | | Batial | | | Abisal |
|-------------|--------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|------------|---------|
| | | Interno | Medio | Externo | Superior | Medio | Externo | |
| 0 m | < 5m | 5-30 m | 30-100 m | 100-200 m | 200-500m | 500-1000m | 1000-2000m | > 2000m |

Figura 4. 22 Clasificación de paleobatimétrica en base a foraminíferos bentónicos de datum levels.

4.9.3.2 Perfiles paleobatimétricos

Los perfiles paleobatimétricos se elaboraron con la finalidad de obtener una representación gráfica aproximada de la plataforma continental a nivel de las superficies de inundación de las unidades depositacionales.

La metodología utilizada para generar los perfiles fue tomada de la metodología usada por Santiago *et al.*, 2015 y consistió en trazar en cada uno de los mapas paleobatimétricos, una línea perpendicular a las líneas isobatas de cada mapa en función del aporte de sedimentos, desde la línea correspondiente al contorno continental (0 m) al contorno nerítico interno (200 m), asumiendo que la profundidad de 200 m representa el quiebre de la plataforma. Se midió en el mapa la distancia entre contornos (ejemplo: distancia entre el contorno transicional (5 m) al contorno nerítico interno (30 m)) y este valor fue transformado a la escala grafica horizontal del mapa. A partir de estos datos se aplica la ecuación de la pendiente de la plataforma:

$$\text{Arc Tg } \alpha = \frac{\text{CO}}{\text{CA}}$$

Dónde:

α = Ángulo de inclinación de la plataforma en ese intervalo

CO= Profundidad de agua (obtenida por la diferencia entre las profundidades paleobatimétricas de los contornos).

CA= Distancia horizontal entre contornos (medida en el mapa).

Este procedimiento se realizó entre todos los contornos para calcular la pendiente de la plataforma hasta llegar al límite continental (0 m).

4.10 Interpretación de la distribución lateral de los sistemas deposicionales Cretácicos

Finalmente se identifican los sistemas deposicionales en el Cretácico del área de estudio por medio de secciones estratigráficas y estructurales, dando a conocer su distribución y comportamiento, continuidades, espesores, y la relación tope-base.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Marco biocronoestratigráfico

Este apartado muestra los resultados de la interpretación bioestratigráfica de los 20 pozos seleccionados que sirvieron de base para el análisis estratigráfico secuencial. De igual manera, se presentan los resultados de la valoración del nivel de confianza de dichos datos los pozos divididos en rangos estratigráficos

5.1.1 Interpretación de rangos estratigráficos

Siguiendo la metodología establecida en el capítulo IV, se generaron los resúmenes bioestratigráficos a nivel del Cretácico en 20 pozos, los cuales se presentan en el Apéndice B.

5.1.2 Cronoestratigrafía del área

A partir de los datos bioestratigráficos disponibles apoyada de la interpretación de la posición estratigráfica de los pozos, se establecieron las columnas estratigráficas de los mismos con el fin de conocer la estratigrafía presente en el área. En base a ello se lograron establecer cuatro (4) áreas dentro de la zona de estudio con sus registros tipos, esta división puede ser visualizada en la figura 5.1 del mapa de columnas cronoestratigráficas.

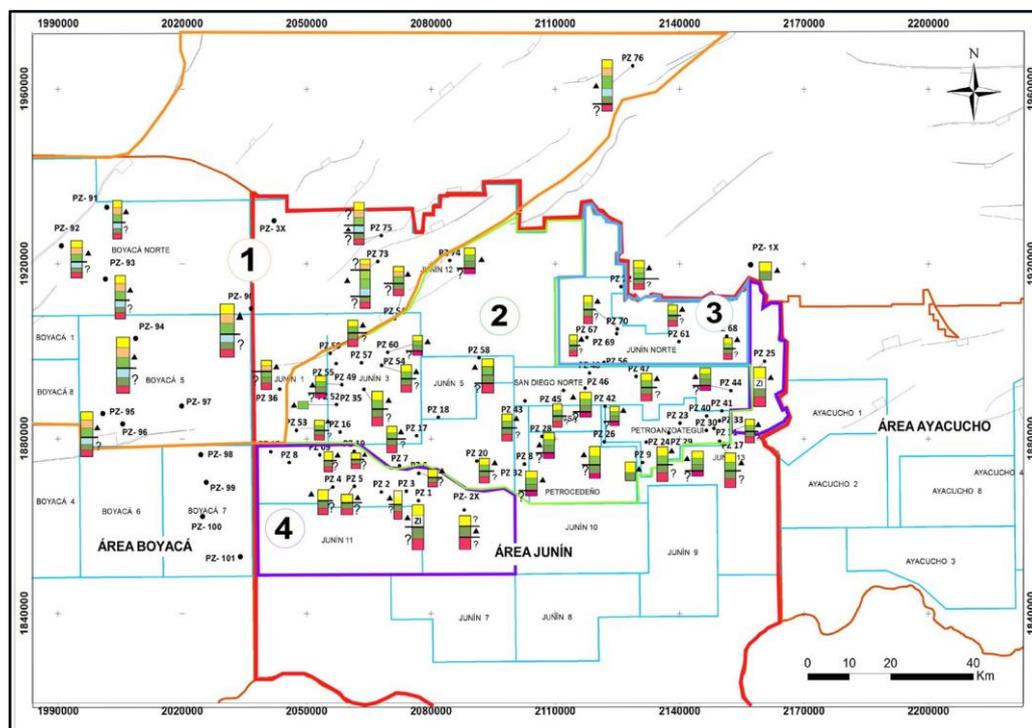


Figura 5. 1 Mapa de columnas cronoestratigráficas del Bloque Junín.

En el registro tipo del área uno (1) se definieron los siguientes rangos estratigráficos (base a tope): Pre-Cámbrico y Cámbrico, por posición estratigráfica; Jurásico, Cretácico, Oligoceno y Mioceno por bioestratigrafía. Esta área se encuentra ubicada hacia noroeste de la zona de estudio (Figura 5.2).

El área dos (2), se ubica en la parte central del Bloque Junín y posee un registro tipo que abarca los rangos estratigráficos (base a tope): Pre-Cámbrico y Cámbrico por posición estratigráfica; Cretácico y Mioceno por bioestratigrafía (Figura 5.3).

El área tres (3) posee evidencia bioestratigráfica que comprende los rangos (base a tope): Cretácico tardío y Mioceno, la misma comprende la menor cantidad de pozos y se ubica en dirección noroeste. Es importante resaltar que no se encontraron disponibles los perfiles eléctricos de los pozos ubicados en dicha

área, por lo cual la interpretación de los rangos y el perfil tipo se estableció únicamente con información bioestratigráfica (Figura 5.4).

Por último, el área cuatro (4) se localiza al sur de la zona de estudio abarcando parte noreste de la misma. El registro tipo evidencia los rangos estratigráficos (base a tope): Cámbrico y Mioceno, descartando la presencia del Cretácico por bioestratigrafía en dicha área. (Figura 5.5).

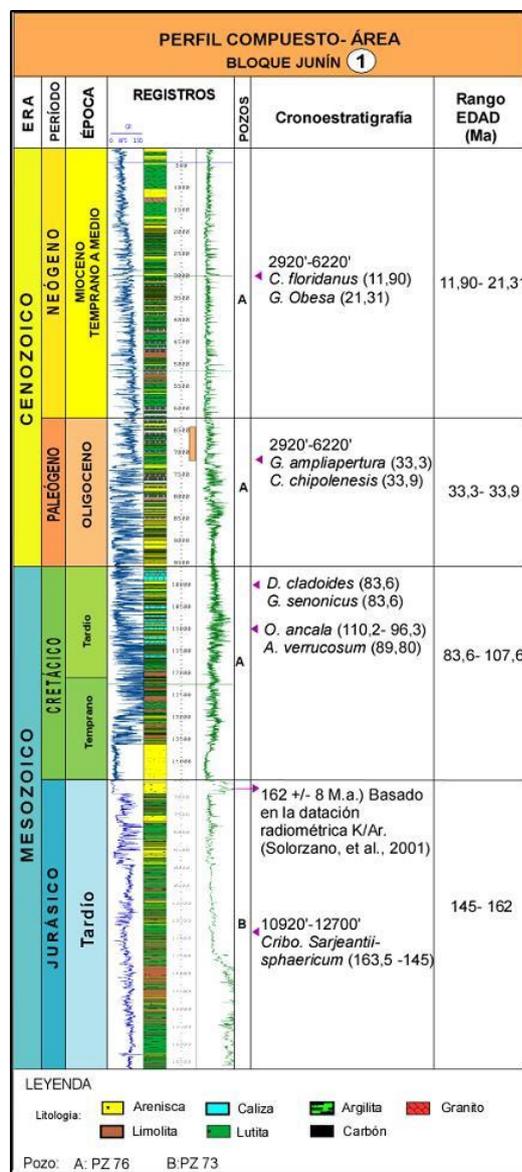


Figura 5. 2 Registro tipo del área 1.

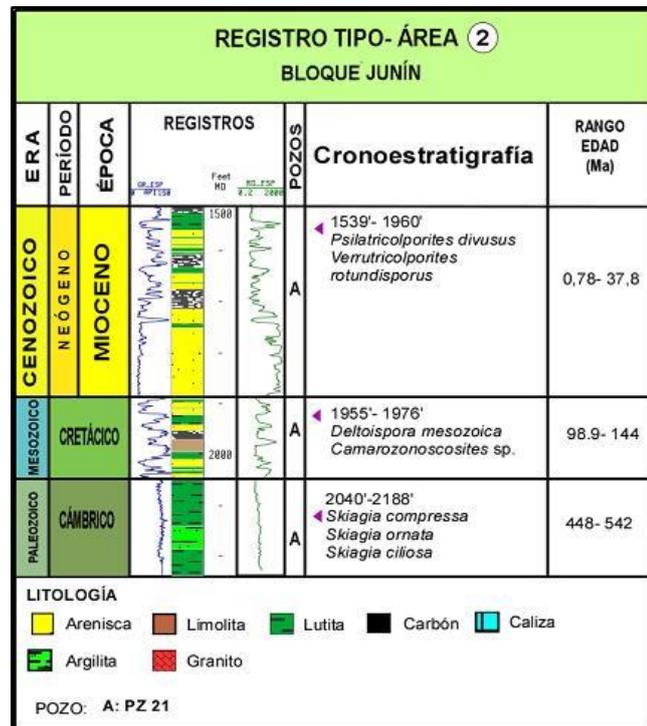


Figura 5. 3 Registro tipo del área 2.

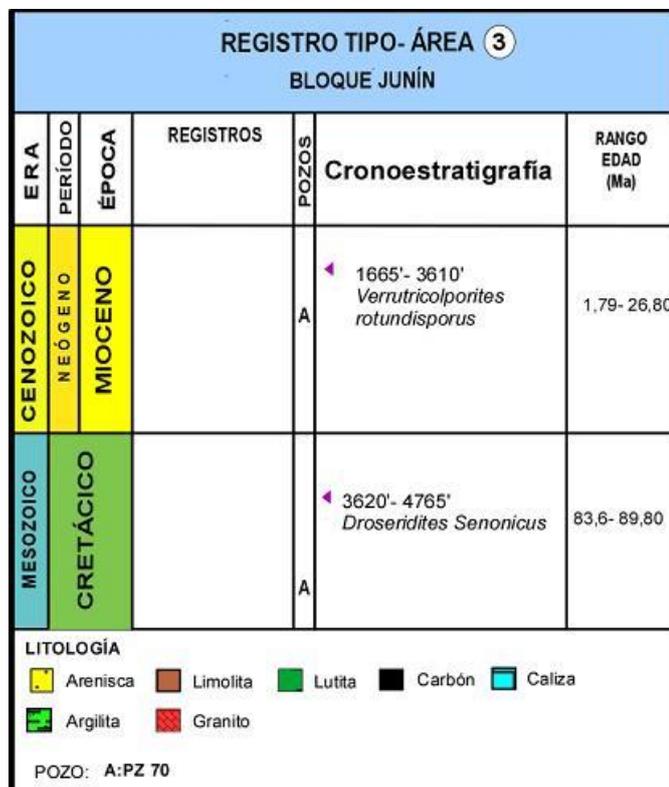


Figura 5. 4 Registro tipo del área 3.

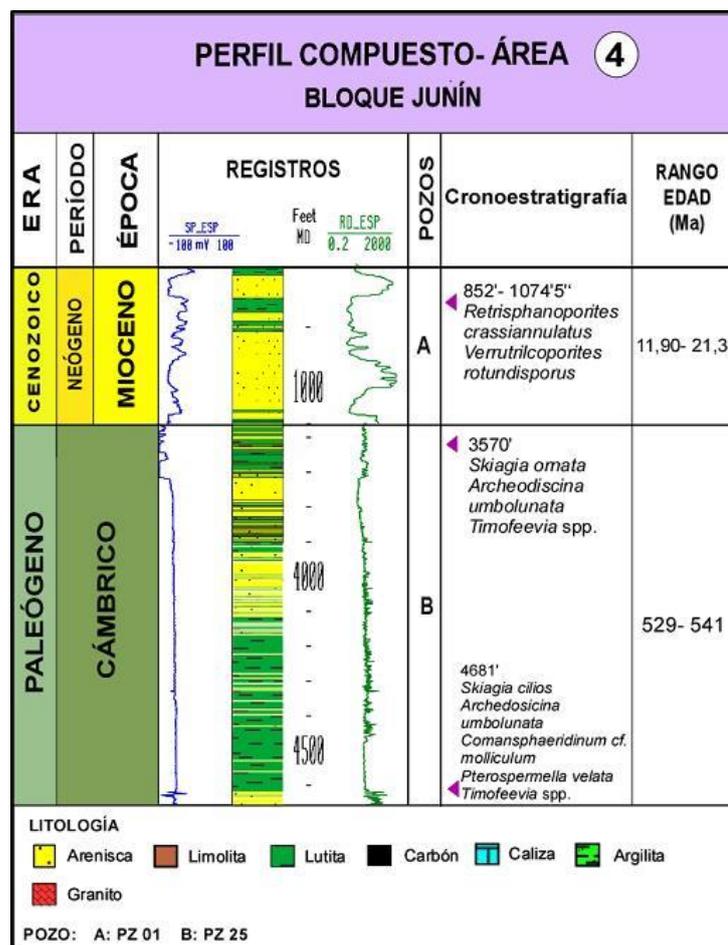


Figura 5. 5 Registro tipo del área 4.

A partir de la información obtenida se describen los datos interpretados por análisis bioestratigráfico del periodo de interés:

4.1.2.1 Cretácico

El periodo Cretácico fue determinado en el área a partir de veinte (20) pozos seleccionados previamente y se definió utilizando rangos estratigráficos establecidos por la presencia de especies predominantes de polen, esporas y dinoflagelados. Las edades o rangos interpretados dentro del periodo Cretácico fueron, Aptiense-Cenomaniense, Albiense-Cenomaniense, Cenomaniense, Santoniense-Coniaciense, Santoniense-Maastrichtiense, Coniaciense-

Maastrichtiense y Maastrichtiense. A continuación se indican los marcadores bioestratigráficos que permitieron definir dichas edades o rangos:

Aptiense- Cenomaniense (126.3 - 93.9); determinado en el pozo PZ 44 y PZ 71 por los biomarcadores *Ephedriptes* sp. y *Matonisporites* sp.

Albiense- Cenomaniense, (113.0 - 93.9), determinado en el pozo PZ 73 a partir de la primera y última ocurrencia del polen *O. ancala* (FAD: 110,2 y LAD: 96,3 Ma). En el pozo PZ 26 por el dinoflagelado *Ovoidinium verrucosum*, y en el pozo PZ 58 por los palinomorfos *Peromonolites peroreticulatus* y *Afropollis jardinus*.

Cenoamniense (100.5 - 93.9), determinado en el pozo PZ 59 por los palinomorfos *Callialasporites dampieri* y *Hexaporo-tricolpites emilianovi*.

Santoniense- Coniaciense (89.8 - 83.6), determinado en el pozo PZ 73, PZ 61 y PZ 58 a partir del polen *Droseditites senonicus* (FAD: 89,80 Ma, LAD: 83,6 Ma). En el pozo PZ 60 por los palinomorfos *Tricolpites* SCI 257 sp. y *Araucariacidites* SCI 265 sp. En el pozo PZ 72 por la ocurrencia de *Tricolporopollenites complex*, *Tricolpites reticulominutus* y *Araucariacidites* SCI 265s sp. En el pozo PZ 26 por medio de la presencia de los marcadores *Psilatriteles guaduensis* y *Tricolpollenites complex*. Los palinomorfos *Tricolpites tienabaensis* y *Ariadnaesporites* sp. delimitaron este rango en el pozo PZ 30, y en el pozo PZ 27 por la presencia de los marcadores *Psilatriteles guaduensis* y *Tricolpites* sp. S. CI 257.

Santoniense-Maastrichtiense (86.3 - 66.0), determinado en el pozo PZ 71 por el marcador bioestratigráfico *Tricolporopollenites complex*.

Coniaciense- Maastrichtiense (89.8 - 66.0), determinado en el pozo PZ 50 por el palinomorfo *Elateres de Aridnaesporites* sp. En el pozo PZ 21 por los

biomarcadores *Deltoidospora mesozoica* (LAD Maastrichtiense) y *Camarozonoscostites* sp. (FAD Coniasiense). Y en el pozo PZ 31 por la presencia del *Tricolpites reticuluminutos* (FAD Coniaciense) y *Ariadnaesporites spinosus* (LAD Maastrichtiense).

Maastrichtiense (72.1 - 66.0), determinado en el pozo PZ 49 por la presencia de los palinomorfos *Foveotriletes margaritae* (FAD Maastrichtiense) y *Ariadnaesporites spinosus* (LAD Maastrichtiense), y en los pozos PZ 17 y PZ 53 por el palinomorfo guía *Terscissus canalis*.

5.1.3 Nivel de Confianza de los datos bioestratigráficos

El análisis de la calidad de los datos biocronoestratigráficos fue una herramienta útil que permitió conocer el nivel de certidumbre de la datación bioestratigráfica. A partir de esta interpretación se elaboraron cuatro (4) mapas de distribución de confianza bioestratigráfica divididos por edades y rangos de edades en relación a los definidos en la cronoestratigrafía del área, siendo estos: Aptiense-Cenomaniense, Coniaciense-Santoniense, Coniaciense-Maastrichtiense y Maastrichtiense, mostrando cada uno el grado de certidumbre y calidad del dato utilizado en la generación del marco biocronoestratigráfico.

El rango estratigráfico Aptiense-Cenomaniense presenta en general un nivel de confianza bueno (V5) en el área, con un solo pozo V3 en nivel excelente, de acuerdo a la matriz de incertidumbre de la datación bioestratigráfica establecida (Figura 5.6). Los pozos ubicados dentro de este rango son; PZ 59: Cenomaniense, PZ 58: Cenomaniense-Albiense, PZ 73: Cenomaniense-Albiense, PZ 26: Cenomaniense-Albiense, PZ 76: Cenomaniense-Albiense, PZ 44: Cenomaniense-Aptiense, PZ 71: Cenomaniense-Aptiense.

El rango estratigráfico Coniaciense - Santoniense, presenta una calidad que varía de V5 a V2, interpretada como buena a excelente. En este rango se ubica la mayor densidad de pozos y se localizan en la parte norte del área de estudio. (Figura 5.7). Los pozos que dataron este rango son: PZ 73, PZ 60, PZ 58, PZ 72, PZ 61, PZ 26, PZ 30 y PZ 27.

La datación bioestratigráfica que determinó el rango Coniaciense-Maastrichtiense, fue interpretada por cuatro (4) pozos del área, con una clasificación que varía de V5 a V2, definiendo un nivel de confianza que va de bueno a excelente. (Figura 5.8). Los pozos que se ubican en este rango son: PZ 50, PZ 31, PZ 21 y PZ 71 con un rango de Maastrichtiense-Santoniense.

Por último, la edad Maastrichtiense fue interpretada en los pozos PZ 17 y PZ 53 con una calidad buena (V5) y en el pozo PZ 49 con una calidad de V3 interpretada como excelente. (Figura 5.9)

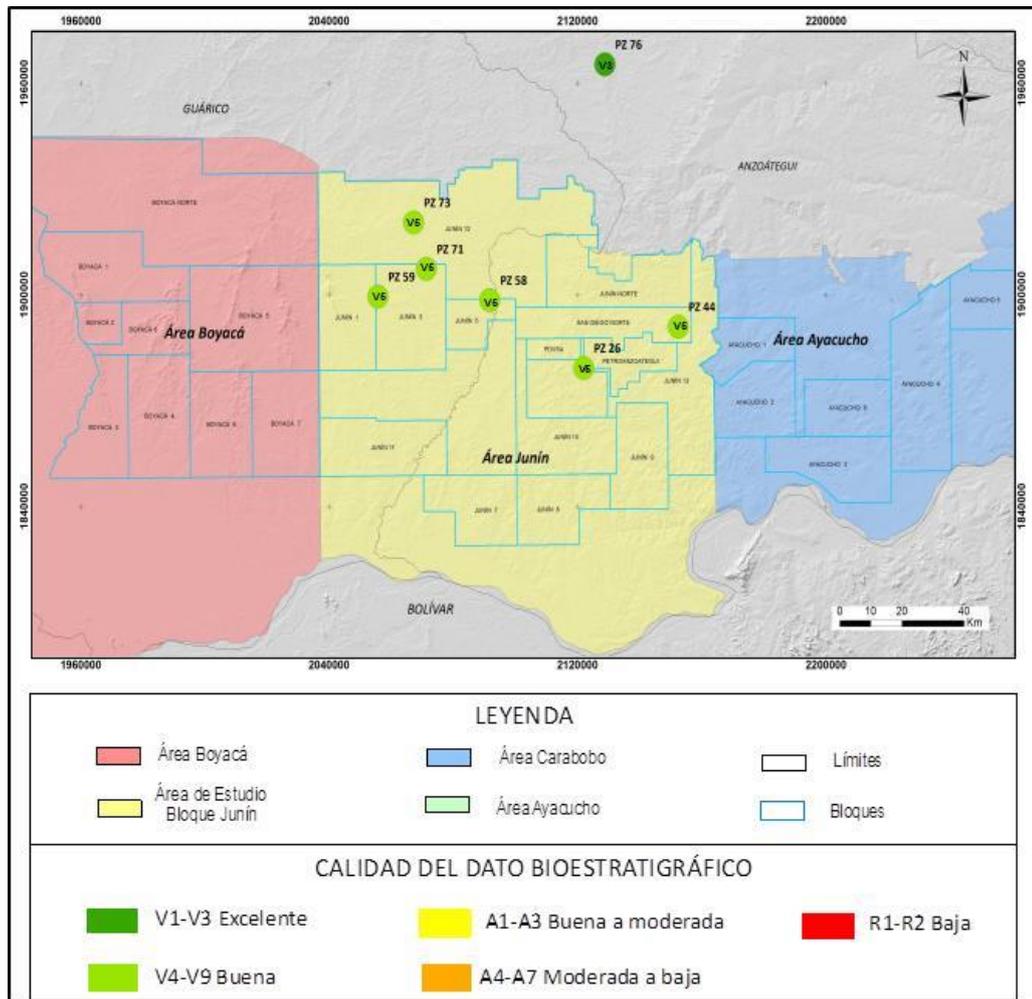


Figura 5. 6 Mapa de calidad del dato Bioestratigráfico, rango Aptiense-Cenomaniene

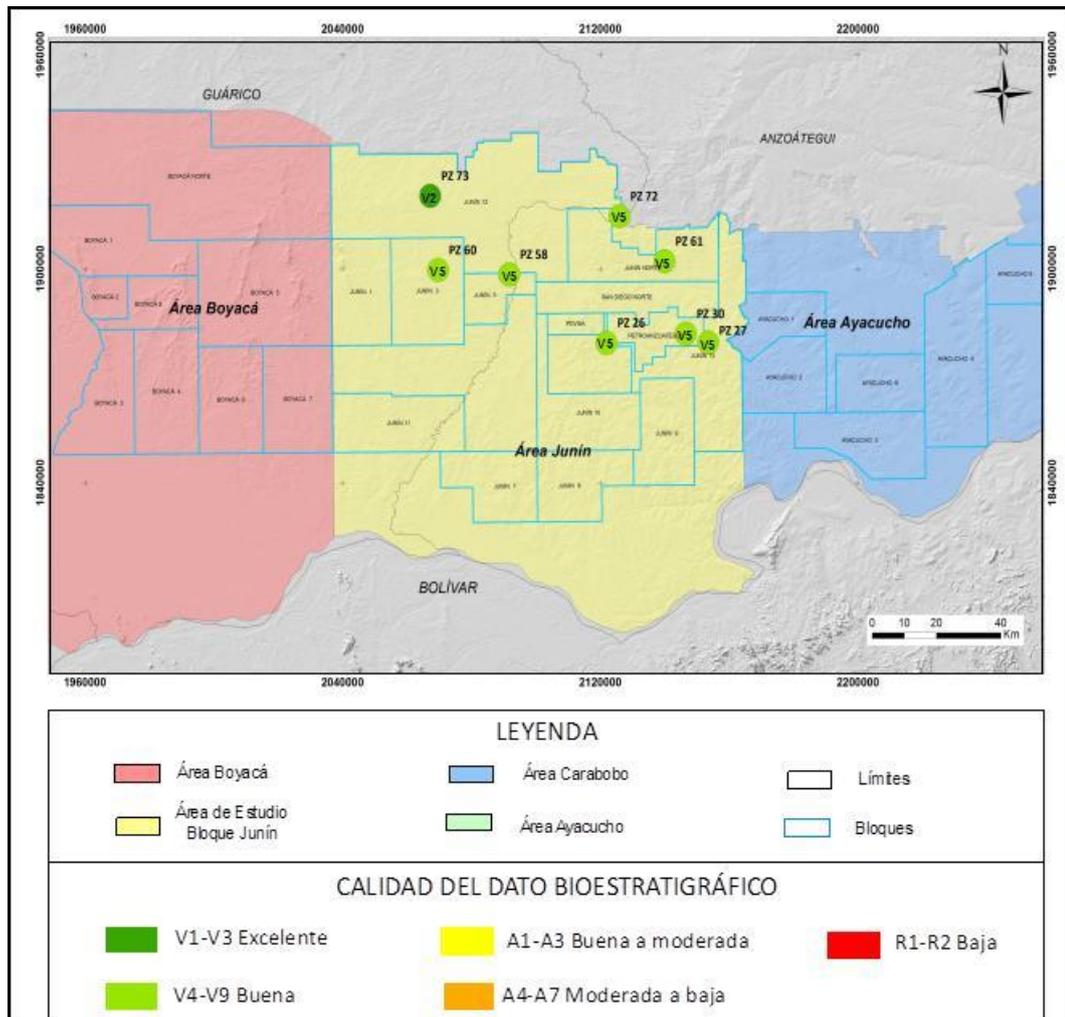


Figura 5. 7 Mapa de calidad del dato Bioestratigráfico, rango Coniensiense-Santiense.

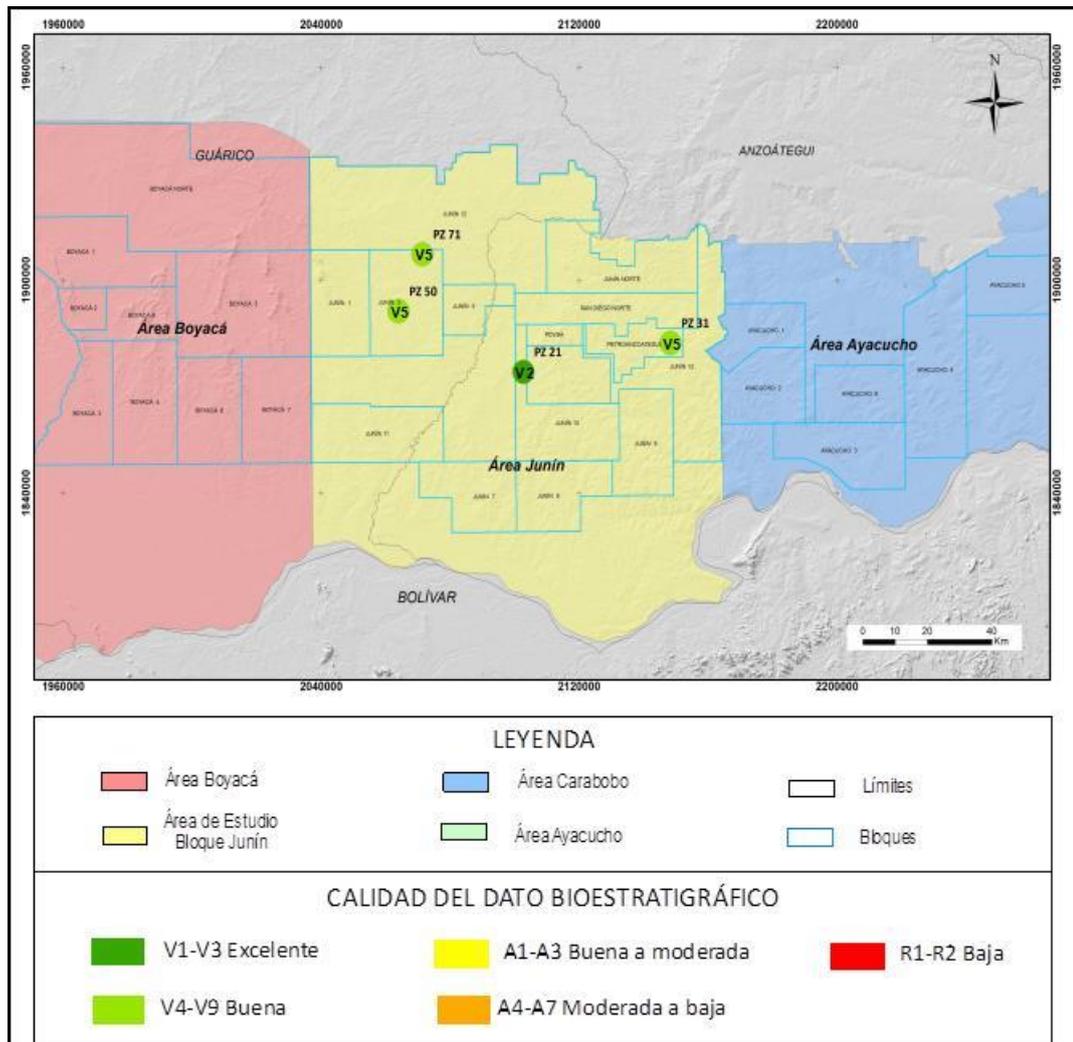


Figura 5. 8 Mapa de calidad del dato bioestratigráfico, rango Coniaciense-Maastrichtiense.

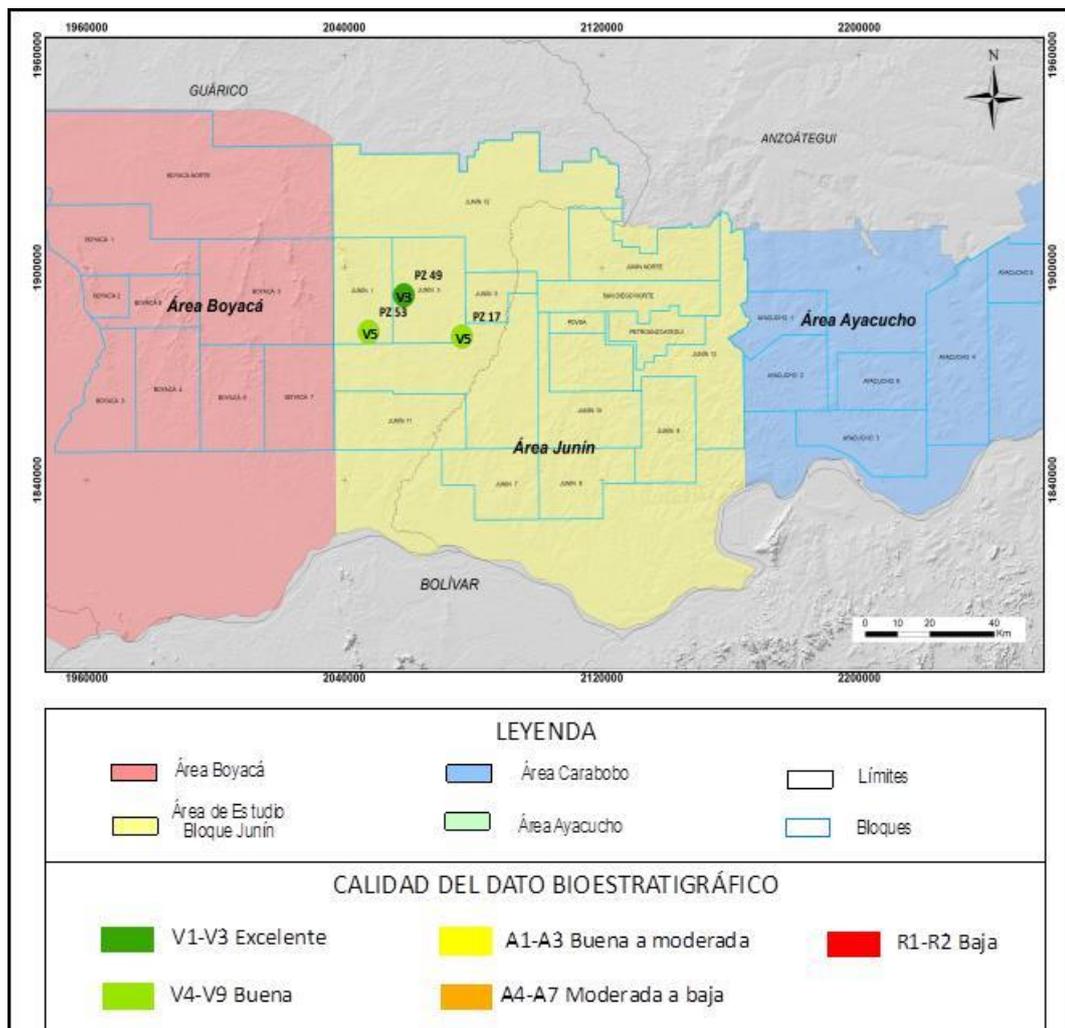


Figura 5. 9 Mapa de calidad del dato bioestratigráfico, edad Maastrichtiense

5.2 Análisis estratigráfico secuencial

En este capítulo se presentan las características de las secuencias interpretadas dentro del Cretácico en bloque Junín, su comportamiento lateral, distribución y espesores.

En base a la interpretación establecida por Parra *et al.*, 2018, el Marco Tectonoestratigráfico de la Cuenca Oriental de Venezuela en el área de la Subcuenca de Guárico, está conformado por una (1) tectonosecuencia que abarca

tres (3) fases tectónicas: a) Apertura Continental, b) Margen Pasivo y c) Margen Activo, donde cada fase genera un tipo particular de cuenca. Los controles en la sedimentación son netamente controles tectónicos, cuyos cambios permiten diferenciar unidades depositacionales definidas como una sucesión de sedimentos depositados bajo diferentes alteraciones de la cuenca, producto de pulsos tectónicos reconocibles dentro de una misma fase tectónica (Parra *et al.*, 2018).

Estas unidades depositacionales son definidas por Parra *et al.* (2018) como UDI, UDII, UDIV y UDVIII; según el modelo de jerarquización propuesto por Catuneanu (2006), y corresponden a Secuencias Depositacionales de Segundo Orden, cuyos límites están representados por discordancias subaéreas fácilmente reconocibles en la sísmica y que están asociadas a cambios en el régimen tectónico. (Figura 5.10)

En este sentido, la unidad depositacional que corresponde al Cretácico es la UDII, la cual se describe a continuación mediante el análisis estratigráfico secuencial realizado en este trabajo de investigación.

| ERA | PERIODO | ÉPOCA | TECTONO-SECUENCIA | FASE TECTÓNICA | UNIDAD DEPOSITACIONAL | SUPERFICIES ESTRATIGRÁFICAS |
|-------------|--------------|--------------------|-------------------|------------------------|---|-----------------------------|
| CENOZOICO | C | Reciente | T3 | MARGEN ACTIVO | UDVIII | MFS_UDVIII (5.5 Ma.) |
| | | Mioceno Tardío | | | | SB_UDVIII |
| | NEÓGENO | PLIOCENO | | | UDVII | SB_UDVII |
| | | MIOCENO TARDÍO | | | | |
| | | MIOCENO MEDIO | | | | |
| | | MIOC. TEMPRANO | | | | |
| | PALEÓGENO | OLIGOCENO | | | UDIV (Flysh Guárico, Foredeep Guárico, Foredeep Maturín) | MFS_UDIV_FM (13.6 Ma.) |
| | | EOCENO | | | | MFS_UDIV_FG (27.8 Ma.) |
| | | PALEOCENO | | | | SB_UDIV |
| | | | | | | |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | TARDÍO | UDII | MFS_UDII (88,9 Ma.) | | |
| | | TEMPRANO | | SB_UDII | | |
| | JURÁSICO | TARDÍO | UDI | SB_UDI | | |
| PALEOZOICO | CÁMBRICO | ? | T2 | MARGEN ACTIVO ? | UD0 (Basamento Acústico) | SB_UD0 |
| PRECÁMBRICO | PROTEROZOICO | NEOPROTEROZOICO | T1 | APERTURA CONTINENTAL ? | UL1 (Basamento Acústico) | |
| | | MESO-PROTEROZOICO | | | | |
| | | PALEO-PROTEROZOICO | | | | |

Figura 5. 10 Cuadro Tectonoestratigráfico de la Subcuenca de Guárico realizado por Parra *et al.*, 2018.

5.2.1 Unidad depositacional II (UDII)

A nivel regional, en la Subcuenca de Guárico, la Unidad UDII se formó producto de la subsidencia termal generada después de la apertura continental, lo cual resultó en el desarrollo de un extenso margen pasivo. Los factores que controlan la sedimentación son principalmente eustáticos y tiene una buena distribución en el área. Esta unidad depositacional se encuentra delimitada por discordancias regionales y subdivididas en un ciclo transgresivo y regresivo separado por una superficie de máxima inundación de orden mayor.

En el bloque Junín, la edad de la UDII va desde el Aptiense hasta el Maastrichtiense, determinada a partir de las dataciones de los pozos seleccionados para el análisis biocronoestratigráfico (Capítulo IV Marco Biocronoestratigráfico). Litoestratigráficamente, esta unidad corresponde al Grupo Temblador (formaciones Tigre y Canoa).

La sedimentación de la unidad comprende un ciclo transgresivo – regresivo de segundo orden, delimitada por discordancias regionales y separado por la superficie de máxima inundación MFS_UDII (Turoniense -Santoniense), a la cual se le asignó una edad de 88.9 Ma según las curvas de Haq y Schutter (2008).

El límite inferior identificado en esta unidad fue denominado por Parra *et al.*, 2018, como Base_UDII, siendo una discordancia tectónica regional denominada como “*breakup unconformity*” (separa la fase de apertura continental del inicio del margen pasivo) o “*Pre-rift unconformity*” (separa la fase de *Prerift* del margen pasivo), dependiendo del lugar del área de estudio. Por debajo de este límite (“*breakup unconformity*”), yace la unidad UDI (Jurásico) hacia el Noroeste de la zona (Graben de Espino). En el resto del Bloque Junín este límite (“*Prerift unconformity*”) yace por encima del Basamento Acústico (Paleozoico y/o Precámbrico). Este límite se identificó a partir del contacto de rocas ígneas

volcánicas (basalto), de edad Jurásico Tardío (Oxfordiense), con truncaciones erosionales al tope, correspondientes a UDI (Jurásico), que yacen por debajo de las rocas sedimentarias (areniscas y lutitas), de edad Cretácico Tardío, con terminación de *onlaps*, pertenecientes a esta unidad. En otros casos, este límite se evidenció por el contacto abrupto de rocas metasedimentarias (argilitas), de edad Cámbrico, con terminaciones tipo truncamiento, o por el contacto abrupto de rocas ígneo-metamórficas del Basamento pertenecientes al Pre-Cámbrico, que yacen discordantes por debajo de las rocas sedimentarias (areniscas y lutitas), de edad Cretácico Tardío, con terminaciones tipo *onlap*, pertenecientes a esta unidad.

El límite superior definido como Base_UDIV por Parra *et al.*, 2018, es una discordancia tectónica regional, denominada como “*basal Foredeep unconformity*” (separa la fase de margen pasivo del inicio del margen activo), por encima de la cual yacen discordantes los sedimentos de la unidad UDIV *Foredeep* de Guárico (Oligoceno-Mioceno).

La unidad UDII está presente en casi toda el área de estudio, a excepción de la franja sur en donde se encuentra parcialmente ausente y/o erosionada, producto del levantamiento de altos de Basamento del Arco El Baúl hacia el este y hacia el oeste del Cratón de Guayana. La profundización de dicha unidad hacia el noreste del área se debe a la geometría de estructuras heredadas del Jurásico (Graben de Espino) y la carga litoestática generada por eventos compresivos del Mioceno.

El espesor total de UDII varía en dirección norte-sur y este-oeste. Los menores espesores de la unidad se encuentran presentes hacia el este y sur del área de estudio, donde alcanzan rangos entre 500 y 700 pies. Esta disminución se debe a la ocurrencia de procesos tectónicos de levantamiento durante el margen activo (Eoceno a Mioceno) que produjeron la erosión parcial del tope de esta unidad y la presencia de altos positivos que produjeron erosión en la parte basal.

Tabla 5. 1 Espesores.

| POZO | ÉPOCA | SECUENCIA | BASE (PIES MD) | TOPE (PIES MD) | ESPEJOR NETO (PIES MD) | ESPEJOR ARENA NETA (PIES MD) |
|-------|-----------|-----------|----------------|----------------|------------------------|------------------------------|
| PZ 90 | Cretácico | S3 | 4957,97 | 4334,93 | 623,04 | 300 |
| | | S2 | 5287,68 | 4957,97 | 329,71 | 96 |
| | | S1 | | | | |
| PZ 48 | Cretácico | S3 | 3443,21 | 3051 | 392,21 | 230 |
| | | S2 | 3694 | 3443,21 | 250,79 | 105 |
| | | S1 | 3976 | 3694 | 282 | 98 |
| PZ 73 | Cretácico | S3 | 5470 | 4762,81 | 707,19 | 361 |
| | | S2 | 6082 | 5470 | 612 | 246 |
| | | S1 | 6526 | 6082 | 444 | 84 |
| PZ-1X | Cretácico | S3 | 5839 | 4980 | 859 | |
| | | S2 | 6507,28 | 5839 | 668,28 | |
| | | S1 | 6734 | 6507,28 | 226,72 | |
| PZ-4X | Cretácico | S3 | 3784,13 | 3557 | 227,13 | 50 |
| | | S2 | 4070 | 3784,13 | 285,87 | 70 |
| | | S1 | | | | |
| PZ 71 | Cretácico | S3 | 3985,31 | 3172 | 813,31 | 383 |
| | | S2 | 4360,92 | 3985,31 | 375,61 | 90 |
| | | S1 | 4792 | 4360,92 | 431,08 | 110 |
| PZ 59 | Cretácico | S3 | 3462,62 | 2865,15 | 597,47 | 258 |
| | | S2 | 3860 | 3462,62 | 397,38 | 200 |
| | | S1 | 4226,87 | 3860 | 366,87 | 140 |
| PZ 51 | Cretácico | S3 | 2805 | 2245,22 | 559,78 | 290 |
| | | S2 | 3257 | 2805 | 452 | 215 |
| | | S1 | 3357 | 3257 | 100 | 40 |
| PZ 18 | Cretácico | S3 | 2630,85 | 1991 | 639,85 | 273 |
| | | S2 | | | | |
| | | S1 | | | | |
| PZ 25 | Cretácico | S3 | 3467 | 3200 | 267 | 50 |
| | | S2 | 3715 | 3467 | 248 | 90 |
| | | S1 | | | | |
| PZ-2X | Cretácico | S3 | 1421 | 1200 | 221 | |
| | | S2 | | | | |
| | | S1 | | | | |

En base a la información disponible se interpretaron tres secuencias estratigráficas en el Cretácico del Bloque Junín, así como tres (3) Superficies de Máxima Inundación de orden menor (calibradas con los ciclos eustáticos de carácter global de Haq y Schutter (2008)) las cuales, según el modelo de secuencias genético – estratigráficas de Galloway (1989), delimitan dos (2) Secuencias Genéticas de tercer orden, las cuales coinciden con las interpretadas por Parra *et al.*, 2018. A partir de ello se realizó, un cuadro tectonoestratigráfico de la zona (Figura 5.12).

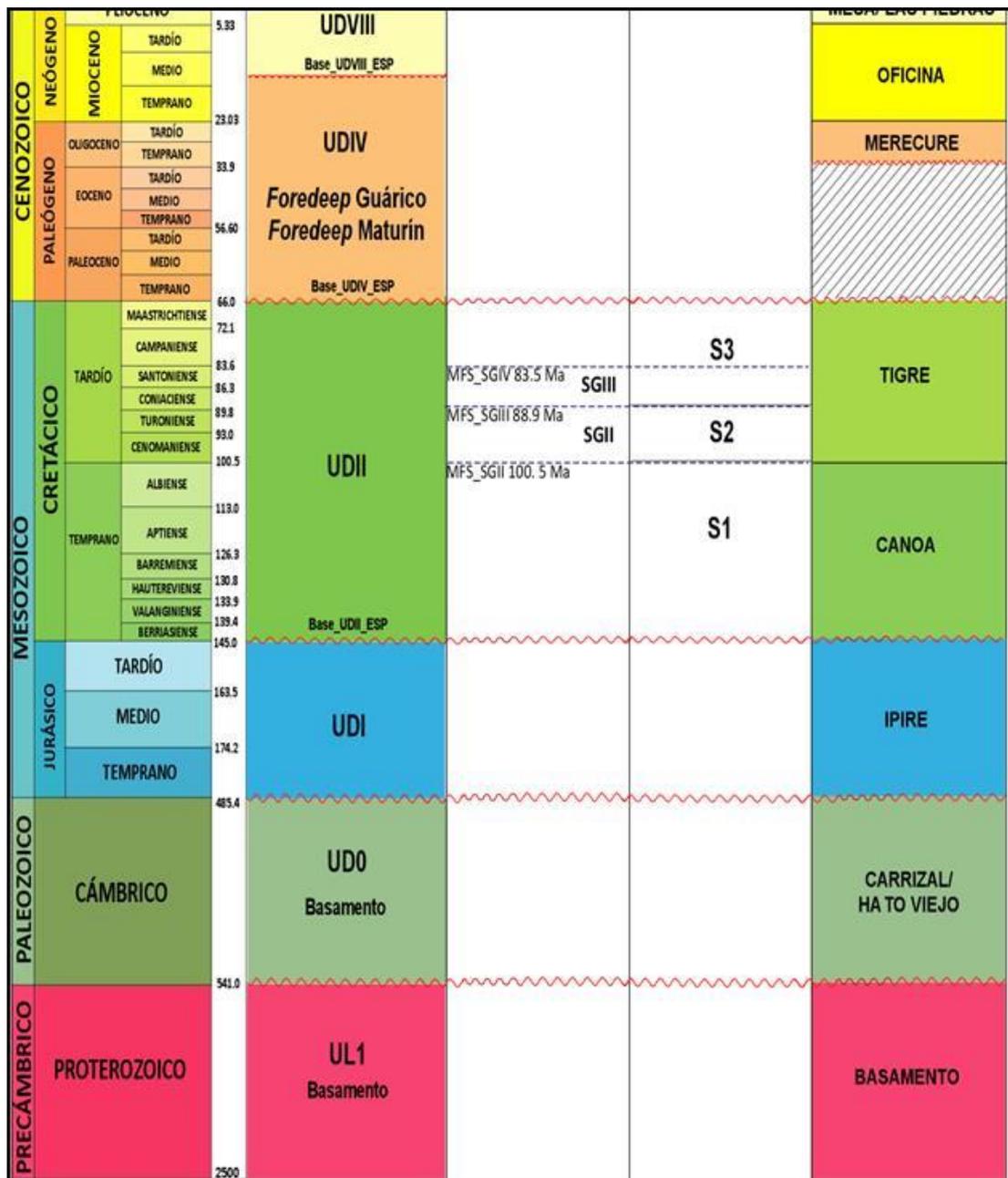


Figura 5. 12 Marco Tectonoestratigráfico del Bloque Junín.

Mediante el análisis secuencial realizado en este estudio, a continuación se describen las secuencias equivalentes presentes en el Cretácico y su descripción en orden estratigráfico.

5.2.1.1 Secuencia S1

Esta secuencia se encuentra limitada en su base por la discordancia definida por Parra *et al.*, 2018 como Base_UDII y en su tope por la mfs_SGI (110 Ma). La edad de esta secuencia varía de Aptiense a Cenomaniense (126.3-93.9Ma). Se encuentra parcialmente erosionada en su base producto de los paleorelieves de altos de Basamento (Arco del Baúl) y de fallas normales (Fallas de Altamira y Machete). Esta secuencia descansa discordantemente hacia e el suroeste sobre sedimentos pertenecientes al Cámbrico y hacia el noreste sobre rocas ígneo-metamórficas del Basamento, como se puede observar en el transecto estructural D-D'. (Figura 5.13)

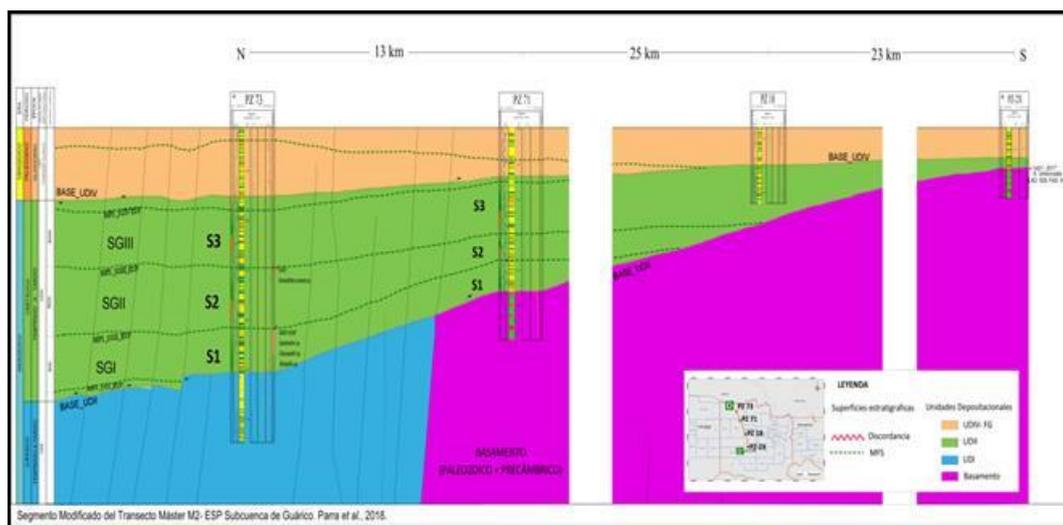


Figura 5. 13 Transecto estructural D-D' (segmento modificado del transecto Máster M2- ESP Subcuenca de Guárico, Parra *et al.*, 2018.)

En el área de Junín se tomaron muestras de pared en los pozos PZ 73, PZ 58, PZ 47 y PZ 71, que evidencian esta secuencia estratigráfica. Según el Léxico Estratigráfico la equivalencia litoestratigráfica de esta unidad corresponde a la Formación Canoa del Grupo Temblador; el espesor estimado de esta secuencia varía entre 100 y 400 pies.

Esta secuencia queda enmarcada como la unidad basal del Cretácico en el área, siendo una secuencia correlativa (Continental) de la Secuencia Genética I (SGI) definida por Parra *et al.*, 2018, ya que no cumple con los criterios establecidos por Galloway 1989 para definirla como una Secuencia Genética en el Bloque Junín.

A partir del mapa paleogeográfico y el perfil paleobatimétrico generado a nivel de la edad Cenomaniense se observa una profundización del área hacia el norte con una paleobatimetría que va de transicional a nerítico interno y una extensión de la plataforma en dirección suroeste de 147.829 km (Figura 5.14) y en dirección sureste de 144.637 (Figura 5.15).

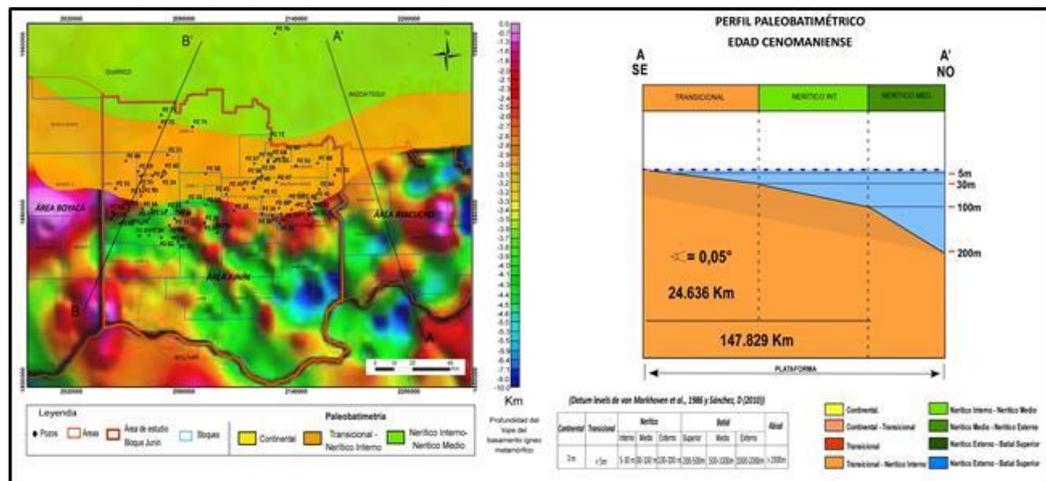


Figura 5.14 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento A-A' a nivel del Cenomaniense.

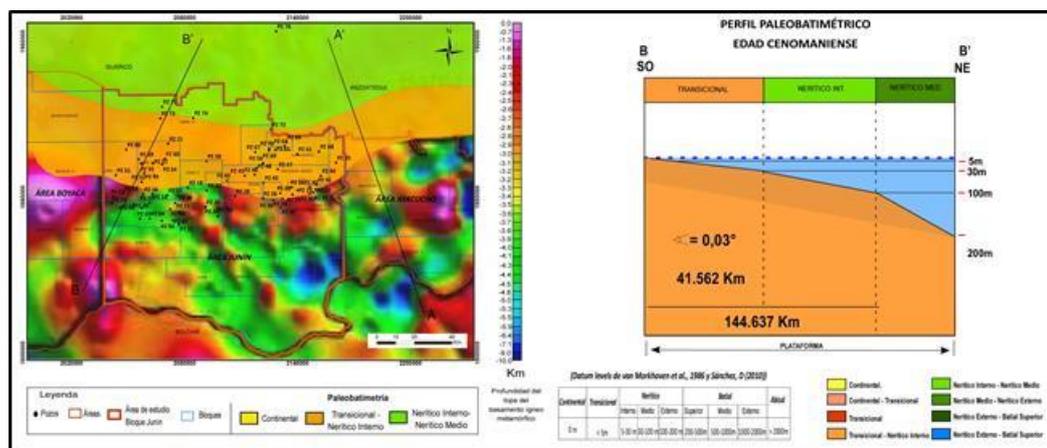


Figura 5. 15 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento B-B' a nivel del Cenomaniense.

5.2.1.2 Secuencia S2

Se encuentra delimitada en su base por la mfs_SGII (~100.5 Ma) y en su tope por la mfs_SGIII (~88.9 Ma), que a su vez coincide con la superficie de máxima de inundación (2do orden) del episodio del margen pasivo (MFS_UDII) de la Sub-cuenca de Guárico. La edad de esta secuencia varía de Cenomaniense a Coniaciense (100.5-86.3Ma), perteneciente al Cretácico Tardío. La paleobatimetría inferida es transicional y litoestratigráficamente corresponde a la Formación Tigre del Grupo Temblador. El mayor espesor de esta secuencia se concentra hacia el noroeste del Bloque Junín, donde se evidencia el cambio en la geometría del Cretácico, el cual se adelgaza progresivamente hacia el este del área. En este transecto el menor espesor total de la UDII se encuentra en pozo PZ 25, el cual se ve afectado por el Alto de Hato Viejo y el mayor espesor perforado se encuentra en el pozo PZ 59. El espesor estimado de esta secuencia varía entre 240 y 670 pies.

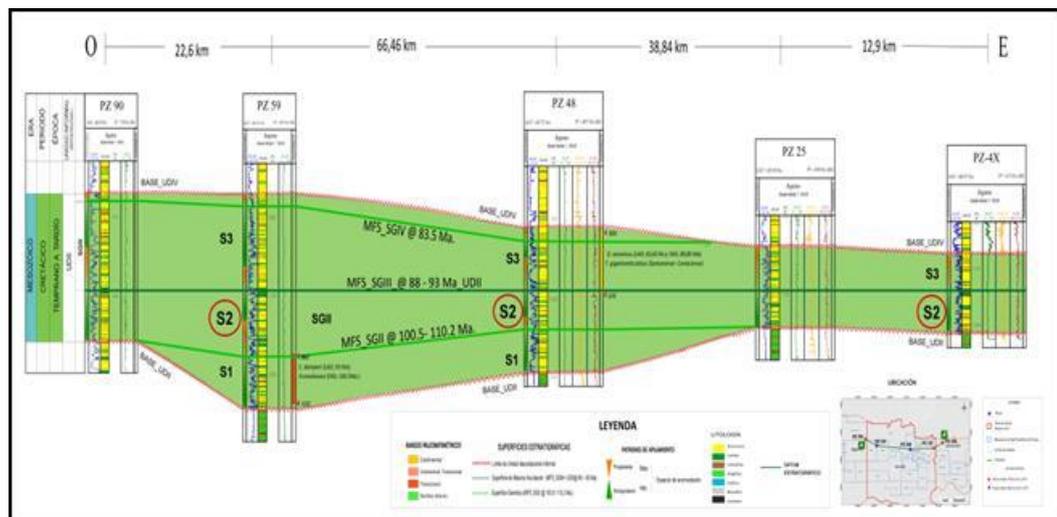


Figura 5. 14 Transecto estratigráfico A-A'.

A partir del mapa y perfil paleobatimétrico generado a nivel de la MFS_UDII_88,9Ma (Santoniense-Coniaciense), se observa una profundización del área hacia el noreste, donde alcanza un rango que varía entre nerítico interno a nerítico externo. Mientras que hacia sur se observa una disminución de la paleobatimetría que va de nerítico interno a transicional y se estiman dos aportes de sedimentos, uno en dirección suroeste identificado en el segmento B-B', asociado a metasedimentos provenientes del Cámbrico con una extensión de la plataforma de aprox. 185.967 km de longitud (Figura 5.17), y otro en dirección sureste asociado al Cratón de Guayana, identificado en el segmento A-A', con una extensión de plataforma de aprox. 146.755 km de longitud (Figura 5.18)

Debido a que esta secuencia (S2) se encuentra entre dos superficies de máxima inundación queda definida como una Secuencia Genética, según Galloway 1989, siendo equivalente a la Secuencia Genética SGII establecida por Parra *et al.*, 2018.

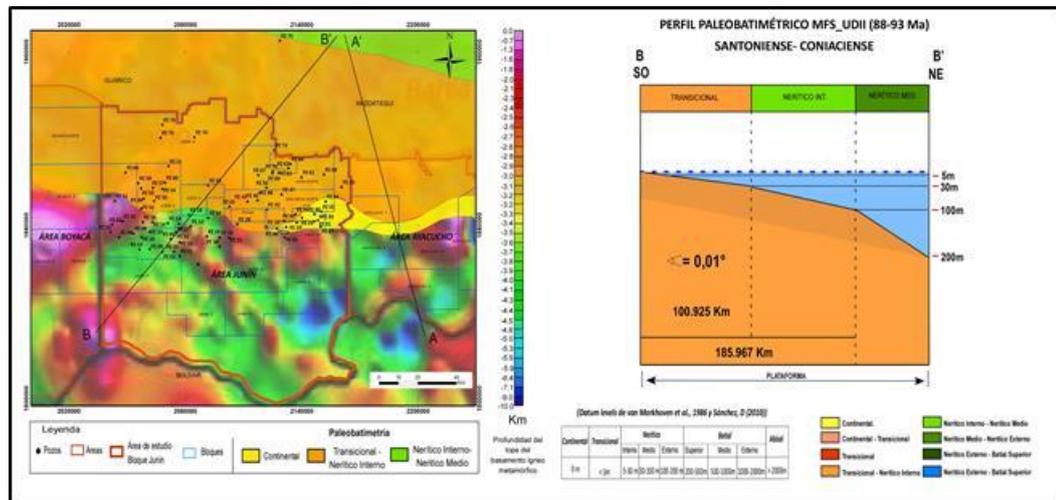


Figura 5. 17 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento B-B' a nivel de la MFS_UDII_88.9Ma, Santoniense-Coniaciense.

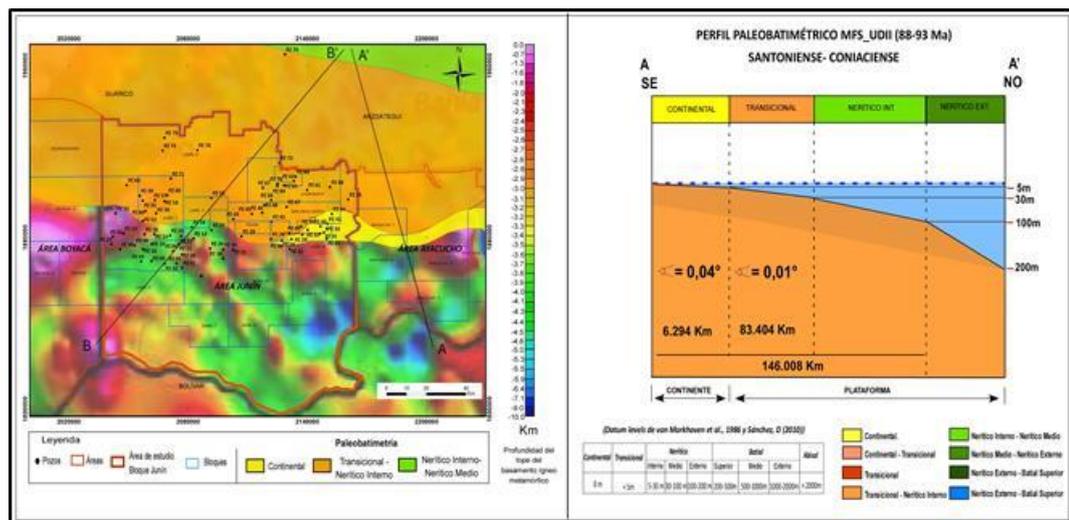


Figura 5. 18 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento A-A' a nivel de la MFS_UDII_88.9Ma, Santoniense-Coniaciense.

5.2.1.3 Secuencia S3

Limitada en su base por la mfs_SGIII (~88.9 Ma), y en su tope por la discordancia definida por Parra *et al.*, 2018 como Base_UDIV. La edad de esta secuencia varía de Coniaciense a Maastrichtiense (89.8-66.0Ma), del Cretácico

Tardío. Sobre esta secuencia descansan discordantemente los sedimentos del Mioceno y litoestratgráficamente corresponde a la Formación Tigre del Grupo Temblador. La paleobatimetría inferida mediante el mapa paleogeográfico realizado a nivel del Maastrichtiense va de transicional a nerítico interno (Figura 5.19 y Figura 5.20) y litoestratgráficamente corresponde a la Formación Tigre del Grupo Temblador. El espesor estimado de esta secuencia varía entre 240 y 670 pies.

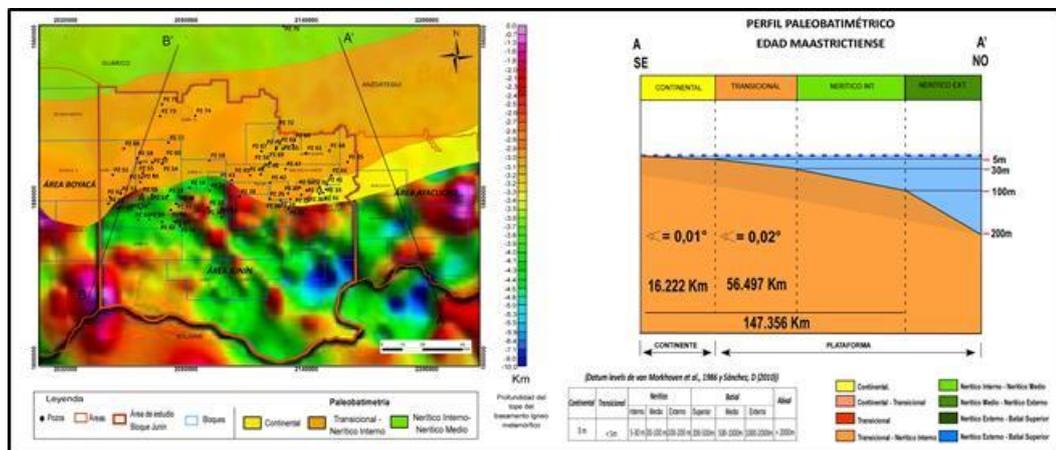


Figura 5. 15 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento A-A' a nivel del Maastrichtiense.

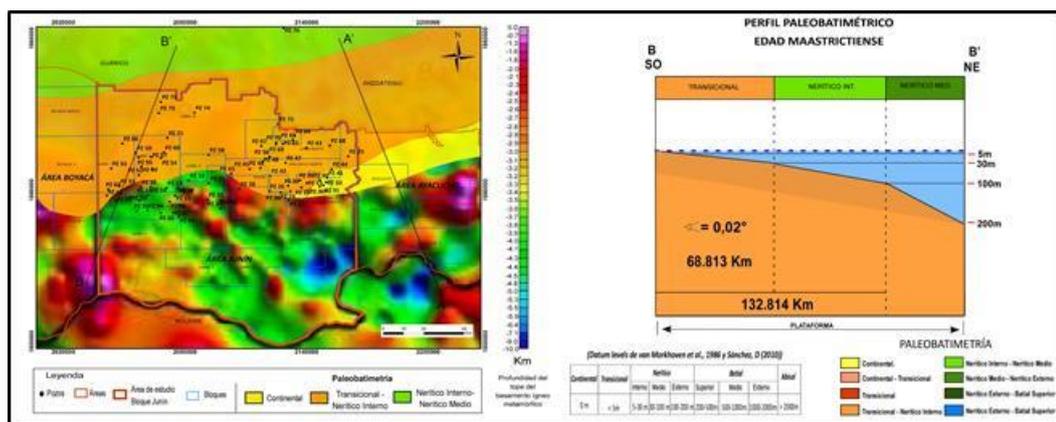


Figura 5. 16 Mapa paleobatimétrico y perfil paleobatimétrico del segmento B-B' a nivel del Maastrichtiense.

Esta secuencia no cumple con los criterios establecidos por Galloway 1989 para definirla como una Secuencia Genética, sin embargo internamente contiene una Secuencia Genética denominada por Parra *et al.*, 2018 como SGIII, la cual está limitada en su base por la mfs_SGIII (~88.9 Ma), y en su tope por la mfs_SGIV (~83.5 Ma).

En el transecto estructural A-A' se puede evidenciar como esta Secuencia Genética es erosionada hacia el sureste de la zona (Figura 5.13). Por otro lado, el transecto estratigráfico B-B' (Figura 5.21) se observa el comportamiento de la secuencia S3 en el que se evidencia un buen espesor hacia el norte del área. Los espesores de esta secuencia en general varían entre 220 y 860 pies.



Figura 5. 21 Transecto estratigráfico B-B'.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a la datación de rangos bioestratigráficos se pudo evidenciar que los sedimentos más antiguos depositados durante el Cretácico corresponden a una edad Cenomaninense, identificada en el pozo PZ 59 por los fósiles guías (palinomorfos) *Callialasporites dampieri* y *Hexaporotricolpites emilianovi*. Mientras que los sedimentos más jóvenes corresponden a una edad Maastrichtiense, interpretada en los pozos PZ 49, PZ 53 y PZ 17 por la presencia de los fósiles guías *Foveotriletes margaritae*, *Ariadnaesporites spinosus* y *Terscissus canalis*. Adicionalmente se identificaron rangos de edades que van desde el Aptiense (Cretácico temprano) hasta el Maastrichtiense (Cretácico tardío), en los pozos PZ 71, PZ 72, PZ 60, PZ 58, PZ 50, PZ 47, PZ 44, PZ 21, PZ 30, PZ 27, PZ 29, PZ 38, PZ 73, PZ 26 y PZ 76.
2. Se homologó la biocronoestratigrafía del Bloque Junín logrando establecer cuatro áreas con sus columnas cronoestratigráficas representativas: Área 1 (Jurásico, Cretácico, Oligoceno y Mioceno), Área 2 (Cámbrico, Cretácico y Mioceno), Área 3 (Cretácico tardío y Mioceno) y Área 4 (Cámbrico y Mioceno), que sirvieron de base para el análisis estratigráfico secuencial.
3. Se identificaron cinco superficies estratigráficas claves en el Cretácico del Bloque Junín: dos discordancias regionales (Base_UDIV y Base_UDII) que delimitan el tope y la base de la Unidad Cretácica y tres Superficies de Máxima Inundación (MFS_83.5 Ma, MFS_88.9 Ma y MFS_100.5 Ma). A partir de estas superficies se establecieron tres secuencias estratigráficas de tercer orden denominadas (base a tope): S1, S2 y S3. Adicionalmente, se generó un cuadro tectonoestratigráfico del Bloque Junín que permitirá una correlación cronoestratigráfica coherente entre los Bloques de la Faja Petrolífera del Orinoco.

4. Mediante la interpretación de la biocronoestratigrafía, análisis de secuencias y paleobatimetría, se establece que el área de estudio se encuentra dividida en dos sistemas deposicionales (Continental y Fluvial a Deltaico), separados por la MFS_88.9 Ma de extensión regional.
5. Al Sur del área, se encuentra el registro estratigráfico más antiguo, representado por la secuencia S1 en el que se interpreta un paleoambiente Continental, caracterizado por altas tasas de aporte de sedimentos provenientes del Cámbrico (suroeste) y del Cratón de Guayana (sureste). Es así que, esta área se identifica como un sistema depositacional Continental.
6. Al Norte de la MFS_88.9 Ma se encuentran las secuencias S2 y S3 en las cuales se interpreta un paleoambiente Transicional-Nerítico Interno, identificándose como un sistema depositacional Fluvial-Deltaico.

RECOMENDACIONES

- Continuar con la búsqueda y recopilación de información bioestratigráfica, sedimentológica y de perfiles de pozos, con la finalidad de fortalecer la base de datos geológica del Bloque Junín.
- Ampliar la información desde el punto de vista sedimentológico para la caracterización sedimentológica de las secuencias identificadas en el área (la cual no pudo ser incluida en la realización de este trabajo) con la finalidad de robustecer el modelo estratigráfico del área.
- Mediante la integración de los elementos del marco biocronoestratigráfico se logró homologar la cronoestratigrafía del área, por lo que se recomienda extender dicha metodología hacia los bloques Ayacucho y Carabobo.
- El esquema aplicado representa el primer eslabón de la cadena exploratoria donde se desarrollan en forma didáctica y práctica las dos principales fases de Proyectos Exploratorios, siendo estas: Base de datos-Formato ArcGIS y Análisis de cuenca, a una escala semi-regional, la cual a su vez comprende el Marco Biocronoestratigráfico y el Análisis Estratigráfico Secuencial (en función de datos de pozo, interpretación regional y bioestratigrafía).

-

REFERENCIAS

Alvarez J., Linares, C., Herrera R., Oropeza, H., Medina C., Rodríguez I., Pelgrain A., (2013). **DEFINICIÓN DE UN NUEVO MARCO GEOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO Y SEDIMENTARIO PARA LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO, DOMINIO ORIENTAL.** PDVSA-INTEVEP. Los Teques, Miranda, Venezuela.

Arias, F. (2012). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.** Sexta edición, Editorial: Episteme. Caracas, Venezuela, pp 24-67.

Barragán, R., Campos-Madrigal, E., Ferrusquía-Villafranca, I., López-Palomino, I., Tolson, G. (2010). **CÓDIGO ESTRATIGRÁFICO NORTEAMERICANO, COMISIÓN NORTEAMERICANA DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA.**

Behar, D. (2008). **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.** Ediciones Shalom. Bogotá, Colombia.

Berrios I., Alvarez J., Araujo F., Barito I., (2017). **OPORTUNIDADES TEMPRANAS EN EL CRETÁCICO DE LA FPO. PDVSA-INTEVEP.** Los Teques, Miranda, Venezuela.

Cabrera D., Contreras C., Ramírez K., Aparicio A., Alvarado D. (2019). **ESTUDIO INTEGRADO BIOESTRATIGRÁFICO DE ALTA RESOLUCIÓN EN POZOS DEL DOMINIO CENTRAL Y OCCIDENTAL DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO (ÁREA BOYACÁ, JUNÍN Y PARTE OESTE DE AYACUCO).** PDVSA-INTEVEP. Los Teques, Miranda, Venezuela.

Campillo, M. (2017). **¿QUÉ ES UNA BATIMETRÍA Y CUÁLES SON SUS APLICACIONES?.** Recuperado el 29 de octubre de [<https://www.comunidadism.es/que-es-una-batimetria-y-cuales-son-sus-aplicaciones/>]

Cancela R., Cea N., Galindo G., Valilla S. (2010). **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA: INVESTIGACIÓN EX POST FACTO.** Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España, p 8.

Catuneanu O, Bhattacharya J.P., Blum M.D., Dalrymple R.W., Eriksson P.G., Fielding C.R., Fisher W.L., Galloway W.E., Gianolla P., Gibling M.R., Giles K.A., Holbrook J.M., Jordan R., Kendall C.G.St.C., Macurda B., Martinsen O.J., Miall A.D, Nummedal D., Posamentier H.W., Pratt B.R., Shanley K.W., Steel R.J., Strasser A. and Tucker M.E.. (2010). **SEQUENCE STRATIGRAPHY: COMMON GROUND AFTER THREE DECADES OF DEVELOPMENT**. *EAGE first break* Volumen 28, pp. 22-28.

Catuneanu, O (2006). **PRINCIPLES OF SEQUENCES STRATIGRAPHY**. Department Of Earth And Atmospheric Sciences University Of Alberta. Edmonton, Alberta, Canada.

Catuneanu, O., Galloway, W., Kendall, C., Miall, A., Posamentier, H., Strasser, A. y Tucker, M. (2011). **NEWSLETTERS ON STRATIGRAPHY**. Gebrüder Borntraeger · Stuttgart. Boston, EE.UU.

Chacon, Y., Garcia, M. F., (2013). **ESTUDIO DE ESTRATIGRAFIA SECUENCIAL DE SEGUNDO ORDEN EN EL CRETACICO DE VENEZUELA ORIENTAL**. Universidad Central de Venezuela, Escuela de Ingeniería Geologica, Caracas, Venezuela, pp. 61 – 64.

Durán, J., 2018. **LAS DICONTINUIDADES ESTRATIGRÁFICAS**. Recuperado el 29 de octubre de [<http://geologia2bto.blogspot.com/2018/02/las-discontinuidades-estratigraficas.html>]

Embry, A., (2009). **PRACTICAL SEQUENCE STRATIGRAPHY**. Canadian Society of Petroleum Geologists. Canadá.

García J., (2007). **POSIBILIDADES PETROLIFERAS EN ROCAS DEL TRIÁSICO Y JURÁSICO EN VENEZUELA PRECRETACICO – GRABEN DE ESPINO**. Gerencia de análisis de sistemas petrolíferos. Documento interno PDVSA, Puerto la Cruz, Venezuela.

González de Juana, C., (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Caracas, Venezuela.

Guadalupe, E., Mena, L., Paredes, J. (1982). **CÓDIGO ESTRATIGRÁFICO DE NORTEAMÉRICA 1982**. COMISION

NORTEAMERICANA DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA.
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Geología.

Hernández S., Fernández C. y Baptista P., (2014) **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.** Sexta edición. Editorial: McGrawhill. Ciudad de México, México, pp 174-309.

Jervey, M.T., (1988). **QUANTITATIVE GEOLOGICAL MODELING OF SILICICLASTIC ROCK SEQUENCES AND THEIR SEISMIC EXPRESSION.** en: Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G. St. C., Posamentier, H.W., Ross, C. A., Van Wagoner, J. C. (eds.), Sea Level Changes – An Integrated Approach. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM) Special Publication.

Kerlinger, F., Howard, L. (2002). **INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO.** Universidad Estatal de California, California, Estados Unidos.

López, M. (1996). **ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DE SISTEMAS DELTAICOS EN CUENCAS DE ANTEPAÍS: EJEMPLOS DE SANT LLORENC DEL MUNT, MONTSERRAT Y RODA. (PALEÓGENO, CUENCA DE ANTEPAÍS SURPIRENAICA).** Universidad de Barcelona. Barcelona, España.

Luna, H. (2015). **ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DEPOSITACIONALES POST-CRETÁDICOS, DE UN TRANSECTO UBICADO EN EL ÁREA CENTRAL DE LA SUBCUENCA DE GUÁRICO, CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA.** Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar, Venezuela.

Malandrino, Giuseppe, (2013). **ESTRATIGRAFÍA SÍSMICA Y SECUENCIAL.** Caracas, Venezuela.

Meneven. (1983). **INTERPRETACIÓN AEROMAGNÉTICA DEL BASAMENTO DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO,** mapa inédito.

Mitchum, R. M. Jr., Vail, P. R., y Thompson, S., III (1977). **SEISMIC STRATIGRAPHY AND GLOBAL CHANGES OF SEA-LEVEL, PART 2: THE DEPOSITIONAL SEQUENCE AS A BASIC UNIT FOR STRATIGRAPHIC ANALYSIS.** en Seismic Stratigraphy–Applications to Hydrocarbon Exploration (C. E. Payton, Ed.). American Association of Petroleum Geologists Memoir.

Parra K., Santiago N., Escorcía L., Hernández Z., Luna H., Marcano E., Marcano J., Moya M., Oliveros R., Peña Y., Rivas Y., (2018). **EVALUACIÓN DEL SISTEMA PETROLÍFERO SUBCUENCA DE GUÁRICO.** PDVSA-División Oriente, Venezuela.

Parra K., Santiago N., Escorcía L., Hernández Z., Luna H., Marcano E., Marcano J., Moya M., Oliveros R., Peña Y., Rivas Y., (2018). **EVALUACIÓN DEL SISTEMA PETROLÍFERO SUBCUENCA DE GUÁRICO.** PDVSA-División Oriente, Venezuela.

Rivas, Y., (2017). **ANÁLISIS DEL SISTEMA DEPOSITACIONAL DEL ÁREA SARARE Y LA VICTORIA, SUBCUENCA DE APURE.** Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Sabino, C. (1992). **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.** Editorial Panapo. Caracas, Venezuela.

Salazar, M. (2006). **EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL E IMPLICACIONES DEL GRABEN DE ESPINO.** Trabajo de Maestría, Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad Simón Bolívar, Venezuela.

Sánchez, D., (2015). **BIOESTRATIGRAFÍA PARA NO BIOESTRATIGRAFOS.** PDVSA- Puerto La Cruz, Venezuela.

Santiago, N., Bastardo m., Bellizi, L., Hernández, Z., Herrera M., Marcano, E., Marcano, J., Moreno, J., Montilla, L., Moya, M., Mussa, S., Oropeza, Y., Repilloza, H. (2015). **PROYECTO EVALUACIÓN DEL SISTEMA PETROLÍFERO MONAGAS.** PDVSA- División Oriente, Venezuela.

Tamayo, M. (2004) **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** Editorial: Limusa. Ciudad de México, México, p 37.

Tarbuck, E., Lutgens, F y Tasa, D. (2005). **CIENCIAS DE LA TIERRA. UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA FÍSICA.** Octava edición. Pearson Education, S.A. Madrid, España.

Vail, P., Mitchum Jr., Todd, R., Widmier, J., Thompson, S., Sangree, J., Bubb, J. y Hatlelid, W. (1977). **SEISMIC STRATIGRAPHY AND GLOBAL CHANGES OF SEA LEVEL.** Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 26, pp 49-211

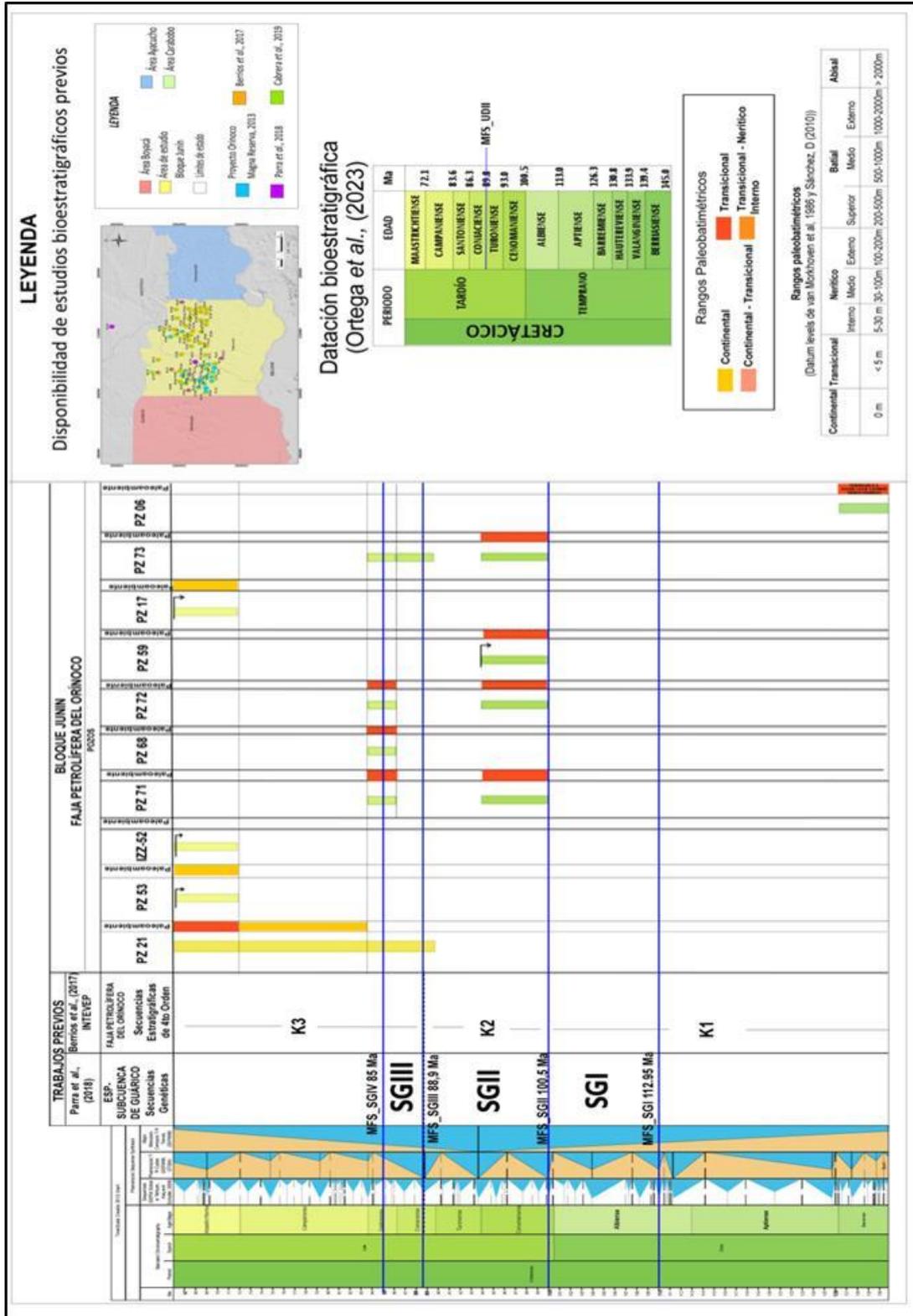
Vera, J. (1994). **ESTRATIGRAFÍA. PRINCIPIOS Y MÉTODOS.** Editorial Rueda. Madrid, España.

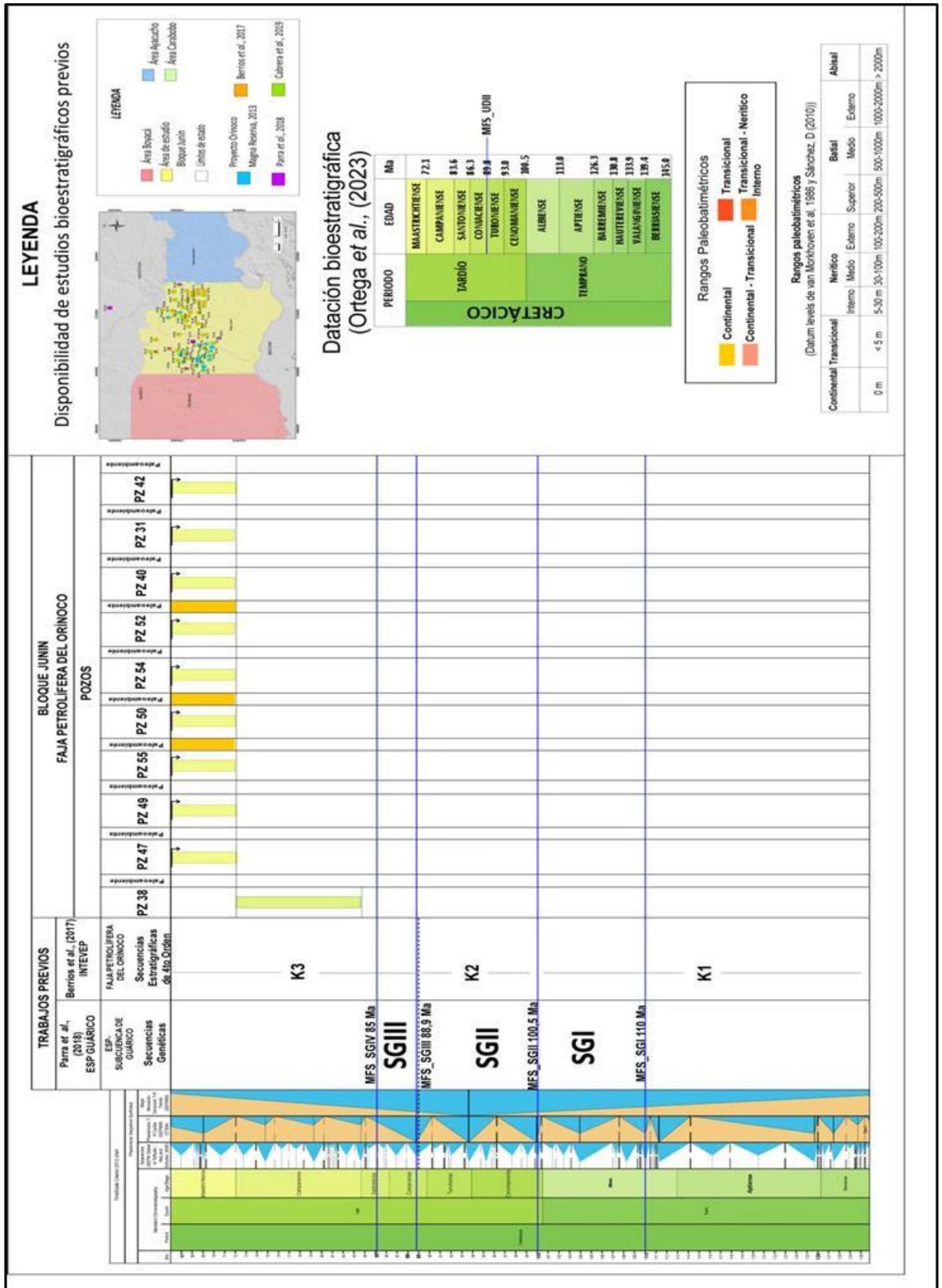
W. Griem. (2020). **APUNTES GEOLOGÍA GENERAL: AMBIENTE SEDIMENTARIO.** Recuperado el 29 de octubre de [https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05c.htm]

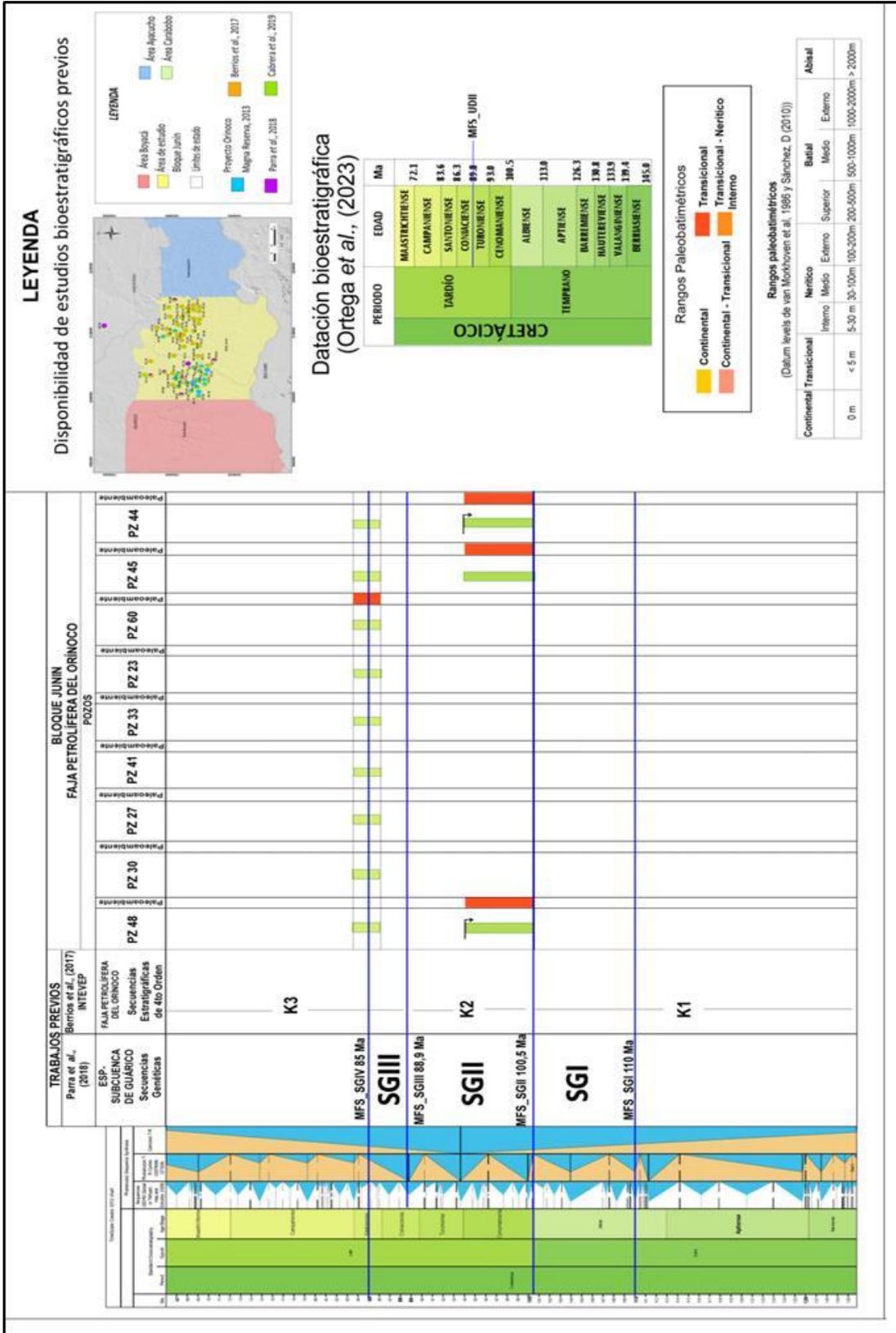
APÉNDICES

APÉNDICE A
REVISIÓN DEL MARCO ESTRATIGRÁFICO DEL BLOQUE JUNÍN
ESTABLECIDO POR BERRIOS *et al.*, 2017.

A.1 Calibración de edades a partir de la cronoestratigrafía del área presentada por Berrios *et al.*, 2017 y las secuencias establecidas por Parra *et al.*, 2018.







SGIII **SGII** **SGI**

MFS_SGIV 85 Ma MFS_SGIII 88,9 Ma MFS_SGII 100,5 Ma MFS_SGI 110 Ma

K3 **K2** **K1**

Datación bioestratigráfica
(Ortega et al., (2023))

APÉNDICE B

RESUMEN BIOESTRATIGRÁFICO DE LOS POZOS

B.1 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 71.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|------------------------------|--|
| 2886' - 5000' | Maastrichtiense- Santoniense | P: + <i>Tricolporopollenites complex</i> (Conienciense- Santoniense, Anton Van Erve 1985 y Robertson Research 1981) |
| 4832' - 5000' | Cenomaniense-Aptiense | P: + <i>Matonisporties</i> sp. + <i>Ephedripites</i> sp. + <i>Classopolis</i> sp. (Cenomaniense-Aptiense, Muller 1987) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.2 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 72.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|----------------------------|--|
| 4180' - 5713' | Santoniense- Conienciense | P: + <i>Tricolporopollenites complex</i> (Cenomaniense- Santoniense, Anton Van Erve 1985 y Robertson Research 1981) |
| | | P: + <i>Araucariacidites SCI 265s</i> sp. (Conienciense- Santoniense, Robertson Research 1981) |
| | | P: + <i>Tricolpites reticulominutus</i> (FAD Coniensiense, Taxon) |
| 5853' | Cenomaniense- Berriasiense | P: + <i>Classopolis</i> sp. (Berriasiense- Cenomaniense, Muller 1987) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.3 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 59.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|------------------------|---|
| 3860' | Cenomaniense | P: + <i>Callialasporites dampieri</i> (LAD Cenomaniense, Muller 1987) |
| 4192' | | P: + <i>Hexaporotricolpites emilianovi</i> (FAD Cenomaniense) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.4 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 60.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|--------------------------|--|
| 2740' - 3998' | Santoniense- Coniaciense | +Tricolpites SCI 257 sp. (Coniaciense- Santoniense, Regali et al., 1974) +Araucariacidites SCI 265 sp. (Coniaciense Santoniense, Robertson Research 1981) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.5 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 49.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|------------------------|---|
| 2300' - 2570' | Maastrichtiense | C: + <i>Foveotriletes margaritae</i> (FAD Maastrichtiense, Muller 1987) C: + <i>Ariadnaesporites spinosus</i> (LAD Maastrichtiense, Regali et al., 1974) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.6 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 53.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|------------------------|--|
| 1830' | Maastrichtiense | P: + <i>Terscissus canalis</i> (Tschudy, 1970) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.7 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 61.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|---------------------------|---|
| 3500' -3996' | Coniaciense - Santoniense | <i>P: + Droserites senonicus</i> (Coniaciense-Santoniense, Muller 1987) <i>P: + Araucariacidites SCI 265 sp.</i> (LAD Santoniense, Robertson Research 1981) <i>P: + Tricolporopollenites complex</i> (LAD Santoniense, Anton Van Erve 1985 / Robertson Research 1981) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.8 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 58.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|--------------------------|--|
| 2625' - 3279' | Santoniense- Coniaciense | <i>P: + Droserites senonicus</i> (Santoniense-Coniaciense, Muller 1987) |
| 3328' - 3875' | Cenomaniense- Albiense | <i>P: + Peromonolites peroreticulatus</i> (LAD Cenomaniense, Regali et al., 1974) <i>P: Afropollis jardinus</i> (Albiense, Anton Van Erve 1985) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.9 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 17.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|------------------------|---|
| 1830' | Maastrichtiense | + <i>Terscissus canalis</i> (Tschudy, 1970) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.10 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 50.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|---|-------------------------------|---|
| 2257' | Coniaciense - Maastrichtiense | P: + <i>Elateres de Aridnaesporites</i> sp. (Maastrichtiense- Coniaciense, Muller 1987) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.11 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 47.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|------------------------------|--|
| 3144'- 3745' | Maastrichtiense- Coniaciense | P: + <i>Psilatriteles guaduensis</i> (Coniaciense- Maastrichtiense, Robertson Research 1981/ Taxon 1995) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.12 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 44.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|------------------------|---|
| 2734'-3270' | Cenomaniense-Aptiense | P: + <i>Ephedriptes</i> sp. (Aptiense- Cenomaniense, Muller 1987) P: + <i>Matonisporites</i> sp. (Aptiense- Cenomaniense, Muller 1987) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.13 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 21.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|-------------------------------|--|
| 1955'-1976' | Maastrichtiense - Coniaciense | P: + <i>Deltoidospora mesozoica</i> (LAD Maastrichtiense, Van Erve 1985) P: + <i>Camarozonoscostites</i> sp. (FAD Coniaciense, Van Erve 1985) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.14 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 30.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|--------------------------|---|
| 2435' - 2632' | Santoniense- Coniaciense | + <i>Tricolpites tienabaensis</i> (Santoniense-Coniaciense, Regali 1974) P: + <i>Ariadnaesporites</i> sp. (FAD Coniaciense, Muller 1987) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.15 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 27.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|--------------------------|---|
| 2322' - 2483' | Santoniense- Coniaciense | + <i>Psilatriteles guaduensis</i> (FAD Coniaciense, Robertson Research 1981) + <i>Tricolpites</i> sp. S. CI 257 (LAD Santoniense, Regali et al., 1974) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.16 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 29.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|-------------------------|---|
| 2303' - 2386'8" | Campaniense-Coniaciense | + <i>Hexaporotricolpites emelianovi</i> (LAD Campaniense, Regali et al., 1974) + <i>Ariadnaesporites spinosus</i> (FAD Coniaciense, Muller 1987) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.17 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 31.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|------------------------------|---|
| 2486' - 2656' | Maastrichtiense- Coniaciense | + <i>Tricolpites reticuluminos</i> (FAD Coniaciense, Taxon 1995) + <i>Ariadnaesporites spinosus</i> (LAD Maastrichtiense, Regali <i>et al.</i> , 1974) |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.18 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 76.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|----------------------------|-------------------------------|
| 8262' - 9725' | Campaniense - Cenomaniense | <i>H. planispira</i> |
| 10775' | Cenomaniense a Albiense | <i>d A. verrucosum</i> |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.19 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 73.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|--|---------------------------|--|
| 5430' | Santoniense - Coniaciense | C: + <i>Droseditites Senonicus</i> |
| 6050'-6330' | Cenomaniense - Aptiense | C: + <i>Ephedriptes sp.</i> C: + <i>Classopolis sp.</i> C: + <i>Afropollis sp.</i> |
| 6300' - 6450' | Cenomaniense - Albiense | C: <i>d O. ancala</i> |
| Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal. | | |

B.20 Resumen bioestratigráfico del pozo PZ 26.

| Profundidad | Rangos estratigráficos | Marcadores Bioestratigráficos |
|---|-------------------------------|--|
| 2090'- 2386' | Santoniense - Coniaciense | <i>Psilatriteles guaduensis</i> (FAD Coniaciense, Robertson 1981) <i>Tricolpollenites complex</i> (LAD Santoniense, Van Erve 1985) |
| 2405'-2420' | Cenomaniense - Albiense | <i>Ovoidinium verrucosum</i> (Albiense-Cenomaniense, Helenes 2008) |
| <p>Leyenda: LAD: última aparición, FAD: primera aparición * = Nanofósil Calcáreo; + = Palinomorfo; ~ Foraminífero; d = Dinoflagelado N: Muestra de núcleo, P: Muestra de Pared, C: Muestra de canal.</p> | | |

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

| | |
|------------------|---|
| Título | "ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO SECUENCIAL DEL BLOQUE JUNÍN, INTERVALO CRETÁCICO (MAASTRICHTIENSE- ALBIENSE) EN LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO HUGO CHÁVEZ FRÍAS, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA." |
| Subtítulo | |

Autor(es)

| Apellidos y Nombres | Código CVLAC / e-mail | |
|---|------------------------------|----------------------------------|
| ORTEGA ANZOÁTEGUI ARELSIS CAROLINA | CVLAC | 29.522.494 |
| | e-mail | arelsis03ortega@gmail.com |
| | e-mail | |
| | CVLAC | |
| | e-mail | |
| | e-mail | |
| | CVLAC | |
| | e-mail | |
| | e-mail | |
| | CVLAC | |
| | e-mail | |
| | e-mail | |

Palabras o frases claves:

| |
|------------------------------------|
| Análisis estratigráfico secuencial |
| Secuencias |
| Estratigrafía |
| Bioestratigrafía |
| Cretácico |
| Paleobatimetría |
| Sistemas depositacionales |
| |
| |
| |

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

| Área | Subárea |
|------------------------------|-----------------------------|
| Ciencias de la Tierra | Ingeniería Geológica |
| | |

Resumen (abstract):

El área de estudio del presente trabajo se encuentra ubicada en la parte sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, en los estados de Guárico y Anzoátegui, denominada: Bloque Junín, perteneciente a la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías. Limita al oeste con el Bloque Boyacá, al este con el Bloque Ayacucho y al sur con el río Orinoco. El objetivo principal de esta investigación, es realizar un análisis estratigráfico secuencial en el intervalo Cretácico del área, con la finalidad de analizar la distribución lateral de los sistemas depositacionales en dicho intervalo. Las etapas de la investigación comprendieron, la generación de la base datos, que consta de la ubicación de información disponible y la elaboración de mapas de disponibilidad con el fin conocer la distribución de dicha información; la generación del marco biocronoestratigráfico, con la finalidad de homologar las columnas biocronoestratigráficas existentes en el Bloque Junín, partiendo de la recopilación, revisión e interpretación de la información bioestratigráfica disponible, estableciendo a través de ello rangos de edades del Cretácico y por último, el análisis estratigráfico secuencial, realizado a partir de secciones estratigráficas y estructurales, por medio de las cuales se lograron identificar dos discordancias regionales (SB) y tres superficies de máxima inundación (MFS), interpretando tres secuencias de orden menor definidas como S1, S2, y S3, permitiendo de esta manera, realizar mapas paleobatimétricos a nivel del intervalo estudiado con el objetivo de comprender y describir el comportamiento lateral de los sistemas depositacionales presentes. Este trabajo contribuirá en la definición del modelo geológico del Bloque Junín y espera disminuir la incertidumbre del comportamiento del Cretácico en la zona.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

| Apellidos y Nombres | ROL / Código CVLAC / e-mail | |
|--|------------------------------------|--|
| Rosario Rivadulla | ROL | C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input checked="" type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 3.825.175 |
| | e-mail | rosario.rivadulla@gmail.co |
| | e-mail | |
| Sandoval Berenice Del Carmen | ROL | C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 8.884.428 |
| | e-mail | beresandoval@hotmail.c |
| | e-mail | |
| Monteverde Sevilla Francisco Raul | ROL | C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 12.192.676 |
| | e-mail | monteverdefr@gmail.com |
| | e-mail | |
| | ROL | C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | |
| | e-mail | |
| | e-mail | |

Fecha de discusión y aprobación:

| Año | Mes | Día |
|-------------|------------|------------|
| 2024 | 05 | 29 |

Lenguaje Spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

| Nombre de archivo |
|---|
| TESIS DE GRADO ARELSIS ORTEGA.docx |
| TESIS DE GRADO ARELSIS ORTEGA.pdf |
| |
| |
| |

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w
x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:**Espacial:** _____ (Opcional)**Temporal:** _____ (Opcional)**Título o Grado asociado con el trabajo:**

Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Pregrado

Área de Estudio:

Departamento de Ingeniería Geológica

Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

Juan A. Bolanos Curvelo
JUAN A. BOLANOS CURVELO
Secretario

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *Martínez*
FECHA *5/8/09* HORA *5:30*

REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SECRETARÍA
CONSEJO UNIVERSITARIO

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



AUTOR
Arelsis Carolina Ortega Anzoátegui
C.I.: V-29.522.494



TUTOR
Rosario Rivadulla
C.I.: V- 3.825.175