

**MODELO TECTONOESTRATIGRÁFICO DE LAS CUENCAS COLOMBIA Y  
GUAJIRA OFFSHORE EN EL CARIBE COLOMBIANO ENTRE LAS LÍNEAS  
SÍSMICAS SPAN\_3600, SPAN\_3200, SPAN\_4300 Y SPAN\_4100.**

**DIEGO ANDRÉS BARRIENTOS MURCIA**

**ALEXANDRA PAOLA BECERRA MEJÍA**

**Asesor: ALEJANDRO IVÁN BELTRÁN TRIVIÑO**

**Coasesora: LAURA REDONDO TORO**

**MEDELLÍN**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**GEOLOGÍA**

**2021**

**MODELO TECTONOESTRATIGRÁFICO DE LAS CUENCAS COLOMBIA Y  
GUAJIRA OFFSHORE EN EL CARIBE COLOMBIANO ENTRE LAS LÍNEAS  
SÍSMICAS SPAN\_3600, SPAN\_3200, SPAN\_4300 Y SPAN\_4100.**

**DIEGO ANDRÉS BARRIENTOS MURCIA**

**dabarrienm@eafit.edu.co**

**ALEXANDRA PAOLA BECERRA MEJÍA**

**apbecerram@eafit.edu.co**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por al título de Geólogo**

**Asesor:**

**ALEJANDRO IVÁN BELTRÁN TRIVIÑO**

**aibeltrant@eafit.edu.co**

**Coasesora:**

**LAURA REDONDO TORO**

**lredondo@eafit.edu.co**

**MEDELLÍN**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**GEOLOGÍA**

**2021**

## **Agradecimientos**

### **Diego Andrés Barrientos Murcia**

Primero agradezco a Dios por darme sabiduría, salud y paciencia para realizar este proyecto.

A mis padres Sandra Patricia Murcia Bravo y Carlos Alberto Barrientos Bautista, por todo el apoyo y amor incondicional que me han dado, por ayudarme a seguir adelante, por formarme como la persona que soy hoy en día y sobre todo por ser mi fuente de inspiración para seguir adelante día a día, los amo mucho.

A mi hermana Ingrid Johanna Barrientos Murcia, por ser esa persona incondicional que siempre estuvo a mi lado, por aconsejarme y ayudarme en los momentos más difíciles y por ser esa persona a la que aspiro ser algún día, mi ejemplo a seguir.

A Alexandra Becerra Mejía, por su paciencia, dedicación conmigo y con el proyecto, por su gran esfuerzo y sacrificio.

A mi profesor Alejandro Beltrán por confiar en mis capacidades, por sus enseñanzas, asesorías y darme la oportunidad de formar parte de este trabajo.

A Laura Redondo por su tiempo, conocimiento, dedicación y asesoramiento.

A Sergio, Camilo, Juan, Wilfredo, Álzate, Valentina, Lorena, Camila, Andrés, Aleja y los que faltan, por ser esas personas con las que compartí grandes momentos en estos 5 años, por ser unos excelentes compañeros de trabajo y por apórtame conocimientos para mi vida profesional.

### **Alexandra Paola Becerra Mejía**

Agradezco infinitamente a mis queridos padres por todo el apoyo y amor incondicional que me han brindado durante toda la carrera y más ahora en este proceso de finalización de la misma.

A mis hermanos Carlos y Daniel por ser un gran ejemplo de superación, por creer en mí, y por animarme a ser cada día una mejor persona y a dar siempre lo mejor de mí.

A todos mis compañeros de estudio que de uno u otro modo me aportaron su ayuda y con los cuales compartí gratos momentos tanto para mi crecimiento profesional como para mi vida personal.

A Diego Barrientos por su gran esfuerzo, paciencia y dedicación durante la elaboración de este proyecto.

A Alejandro Beltrán por hacerme parte de este gran trabajo, por todas sus enseñanzas, asesoría y disposición a ayudarnos.

A Daniel Bello le agradezco el tiempo que dedicó para brindarnos su valioso asesoramiento.

A Laura Redondo por compartirnos sus experiencias y conocimientos, y por siempre estar dispuesta a direccionarnos.

## Resumen

La tectonoestratigrafía de las cuencas Colombia y Guajira *Offshore* ha sido objeto de discusión por parte de muchos autores, puesto que se trata de una zona de convergencia compleja entre dos placas tectónicas. La hipótesis con mayor aceptación explica la migración de la placa Caribe desde el Pacífico hasta su posición actual a lo largo del borde noroccidental de Colombia y, sincrónicamente se presenta un evento de subducción oblicua de la placa oceánica debajo de la placa Suramericana. Mediante la interpretación de las líneas sísmicas 2D SPAN-2004 y la correlación de eventos tectónicos, se pretende contribuir al entendimiento de la configuración tectonoestratigráfica de ambas cuencas en el área de estudio. La interpretación de los datos permitió identificar doce secuencias sísmicas, diapiros de lodo que atraviesan las unidades involucradas en el prisma de acreción y sistemas de fallas divididos en cinco familias; estas estructuras identificadas fueron relacionadas con los resultados de trabajos previos. Se generó un modelo tectonoestratigráfico a partir de las superficies consideradas de mayor importancia, en el cual se lograron identificar estructuras locales y regionales como el CDSC, el Alto el Carpintero, el sistema de fallas de Cuiza y la subcuenca Ranchería. En suma, se tiene que para el área de estudio, la configuración de las cuencas Colombia y Guajira *Offshore* han sido controladas por esfuerzos transtensivos y transpresivos, producto del movimiento y convergencia de la placa Caribe con respecto a Suramérica.

## **Abstract**

The tectonostratigraphy of the Colombia and Guajira Offshore basins has been the subject of discussion by many authors, since it is a complex convergence zone between two tectonic plates. The most widely accepted hypothesis explains the migration of the Caribbean plate from the Pacific to its current position along the northwestern edge of Colombia and, synchronously, an oblique subduction event of the oceanic plate occurs under the South American plate. Through the interpretation of the 2D SPAN-2004 seismic lines and the correlation of tectonic events, it is intended to contribute to the understanding of the tectonostratigraphic configuration of both basins in the study area. The interpretation of the available data identifies twelve seismic sequences, mud diapirs that cross the units involved in the accretion prism and fault systems divided into five families, the identified structures were related to the results of previous works. A tectonostratigraphic model was generated from the surfaces considered of greatest importance, in which local and regional structures such as the CDSC, Alto el Carpintero, the Cuiza fault system and the Rancheria sub-basin were identified. In short, for the study area, the configuration of the Colombia and Guajira Offshore basins have been controlled by transtensive and transpressive forces, product of the movement and convergence of the Caribbean plate with respect to South America.

## Tabla de contenido

Introducción .....	12
1. Generalidades .....	14
1.1 Pregunta de investigación .....	14
1.2 Hipótesis .....	14
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	14
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	14
2. Marco teórico .....	15
2.1 Marco tectónico .....	15
2.2 Fases tectónicas de las subcuencas <i>offshore</i> de la Guajira .....	18
2.3 Geología estructural.....	18
2.4 Estratigrafía .....	20
3. Marco conceptual .....	23
3.1 Estratigrafía sísmica .....	23
3.2 Atributos sísmicos .....	23
4. Datos y metodología.....	24
4.1 Recopilación Bibliográfica .....	24
4.2 Interpretación.....	25
4.2.1 <i>Definición de parámetros sísmicos</i> .....	25
4.2.2 <i>Atributos sísmicos</i> .....	25
4.3 Interpretación de las secciones transversales.....	26
4.4 Análisis de Facies sísmicas.....	26
5. Resultados .....	29
5.1 Estratigrafía sísmica .....	29
5.1.1 <i>Interpretación de horizontes</i> .....	29
5.1.2 <i>Secuencias tectonoestratigráficas de la cuenca Guajira Offshore</i> .....	32

5.1.3 <i>Secuencias tectonoestratigráficas de la cuenca Colombia</i> .....	41
5.2. Rasgos estructurales de la zona .....	44
6. Discusión .....	50
6.1 Evolución tectonoestratigráfica de las cuencas Guajira <i>Offshore</i> y Colombia .....	50
6.1.1 <i>El basamento acústico</i> .....	50
6.1.2 <i>Eoceno (?) - Oligoceno</i> .....	51
6.1.3 <i>Oligoceno - Mioceno temprano</i> .....	52
6.1.4 <i>Mioceno medio-tardío</i> .....	53
6.1.5 <i>Mioceno tardío - Plioceno temprano</i> .....	54
6.1.6 <i>Pleistoceno - Holoceno</i> .....	55
Conclusiones .....	56
Referencias .....	57

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Localización de la zona de estudio.....	13
<b>Figura 2.</b> Evolución de la placa Caribe con respecto a las placas de Norteamérica y Suramérica, desde el Jurásico hasta la actualidad.....	16
<b>Figura 3.</b> Sección transversal esquemática (con su respectivo mapa de localización) del Eoceno tardío que muestra la formación de la cuenca Ranchería y el empuje de la placa Caribe formando el proto-CDSC. ....	18
<b>Figura 4.</b> Topografía y configuración tectónica del margen noroccidental de América del Sur. SNSM= Macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta, SP= Serranía de Perijá, CG= Cuenca Guajira Offshore, PG= Península de la Guajira, CDSC= Cinturón Deformado del Sur del Caribe, CB= Cuenca Colombia. El rectángulo negro delimita la zona de estudio. ...	19
<b>Figura 5.</b> Columna estratigráfica de las Cuencas Colombia y Guajira Offshore. ....	20
<b>Figura 6.</b> Metodología adoptada para este proyecto con base a la realizada por Redondo y Cepeda (2021). ....	24
<b>Figura 7.</b> A) Línea sísmica 2D SPAN-3200 original. B) Atributo sísmico Tecva aplicado a la línea sísmica 2D SPAN-3200. ....	25
<b>Figura 8.</b> Terminaciones de los reflectores y su correlación cronoestratigráfica. ....	26
<b>Figura 9.</b> Configuraciones de los reflectores sísmicos.....	28
<b>Figura 10.</b> A) Línea sísmica 2D SPAN-3200 con su respectivo mapa de ubicación y batimetría de la zona de estudio. B) Línea sísmica 2D SPAN-3200 con interpretación de las secuencias tectonoestratigráficas para las cuencas Guajira Offshore y Colombia. Los rectángulos negros indican las secciones representativas de la Figura 31. EV.3 (Exageración vertical). ....	33
<b>Figura 11.</b> A) Línea sísmica 2D SPAN-3600 con su respectivo mapa de ubicación y batimetría de la zona de estudio. B) Línea sísmica 2D SPAN-3600 con interpretación de las secuencias tectonoestratigráficas para la cuenca Guajira Offshore. El rectángulo negro indica la sección representativa de la Figura 31. EV. 3.....	34
<b>Figura 12.</b> A) Línea sísmica 2D SPAN-4100 con su respectivo mapa de ubicación y batimetría de la zona de estudio. B) Línea sísmica 2D SPAN-4100 con interpretación de las secuencias tectonoestratigráficas para la cuenca Guajira Offshore. EV. 2.....	35
<b>Figura 13.</b> A) Línea sísmica 2D SPAN-4300 con su respectivo mapa de ubicación y batimetría de la zona de estudio. B) Línea sísmica 2D SPAN-4300 con interpretación de las secuencias tectonoestratigráficas para la cuenca Guajira Offshore. EV. 2.....	36

<b>Figura 14.</b> Horizontes y secuencias tectonoestratigráficas definidas en la línea sísmica SPAN-3200 para la cuenca Guajira Offshore. EV. 2,5. ....	37
<b>Figura 15.</b> Estratos de crecimiento y terminaciones de los reflectores para las secuencias S1 y S2 respectivamente; localizados en la línea SPAN-3200. EV. 2,5.....	38
<b>Figura 16.</b> Truncaciones de los reflectores y la discordancia observada entre las secuencias S3 y S1; localizados en la línea SPAN-3200. EV. 1,7.....	39
<b>Figura 17.</b> Terminaciones en onlap de los reflectores de la secuencia S5 en discordancia con la secuencia S4; localizados en la línea SPAN-3200. EV. 1,4.....	40
<b>Figura 18.</b> Secuencias tectonoestratigráficas definidas en la línea SPAN-3600 para la cuenca Guajira Offshore. EV. 3,5. ....	40
<b>Figura 19.</b> Representación de las facies sísmicas de las secuencias 9, 10, 11 y 12 para la cuenca Colombia, ubicadas desde el prisma de acreción hasta la parte más noreste de la línea sísmica SPAN-3200. EV. 2. ....	42
<b>Figura 20.</b> Terminaciones de los reflectores identificados para la secuencia S10; localizados en la línea SPAN-3200. EV. 2. ....	43
<b>Figura 21.</b> Patrón sísmico paralelo de los reflectores identificados para la secuencia S11; localizado en la línea SPAN-3600. EV. 2.....	43
<b>Figura 22.</b> Truncaciones de los reflectores contra las fallas que delimitan el CDSC, identificados para la secuencia S12 y localizados en la línea SPAN-3200. EV. 4.....	44
<b>Figura 23.</b> Mapa de contornos de la superficie del basamento para el CDSC y las subcuencas de la Guajira Offshore. EV. 3. ....	45
<b>Figura 24.</b> Distribución de los topes de las secuencias sísmicas definidas en este proyecto. ....	46
<b>Figura 25.</b> Familia de fallas normales con componente de rumbo dextral asociados a la subcuenca de Ranchería. Localizadas en la línea SPAN-3600. EV. 2,5.....	46
<b>Figura 26.</b> Familia de fallas 2 asociadas a el sistema de fallas de Cuiza. Localizadas en línea sísmica Span-3200. EV. 1,7.....	47
<b>Figura 27.</b> Familia de fallas 3 de tipo inversa que se concentran en el CDSC, de las cuales se aprovecha el diapirismo de lodo para ascender; localizadas en la línea Span-3200. EV. 2. .	48
<b>Figura 28.</b> Familia de fallas poligonales normales que cortan las secuencias S5 y S6; localizadas en la línea Span-3600. EV. 2.....	48
<b>Figura 29.</b> Familia de fallas normales con posible inversión tectónica a fallas inversas; localizadas en la línea Span-3200. EV. 2.....	49

<b>Figura 30.</b> Localización e interpretación de la línea sísmica realizada por Vence y Mann (2020) en la cuenca Guajira Offshore, en donde se representa el GAC como parte del basamento.....	51
<b>Figura 31.</b> Correlación de las secuencias definidas en este trabajo con las propuestas por otros autores.....	52
<b>Figura 32.</b> A) Perfil sísmico de la cuenca Colombia con la interpretación de las mega-secuencias COLB1, COLB2 y COLB3. B) Localización del perfil sísmico B-B'.....	53

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Significado geológico de las terminaciones de los reflectores sísmicos.....	26
<b>Tabla 2.</b> Características internas de las reflexiones sísmicas, con su respectiva interpretación geológica y representación. ....	27
<b>Tabla 3.</b> Criterios de selección mediante los cuales fueron definidos los horizontes de la cuenca Guajira Offshore.....	30
<b>Tabla 4.</b> Criterios de selección mediante los cuales fueron definidos los horizontes de la cuenca Colombia. ....	31

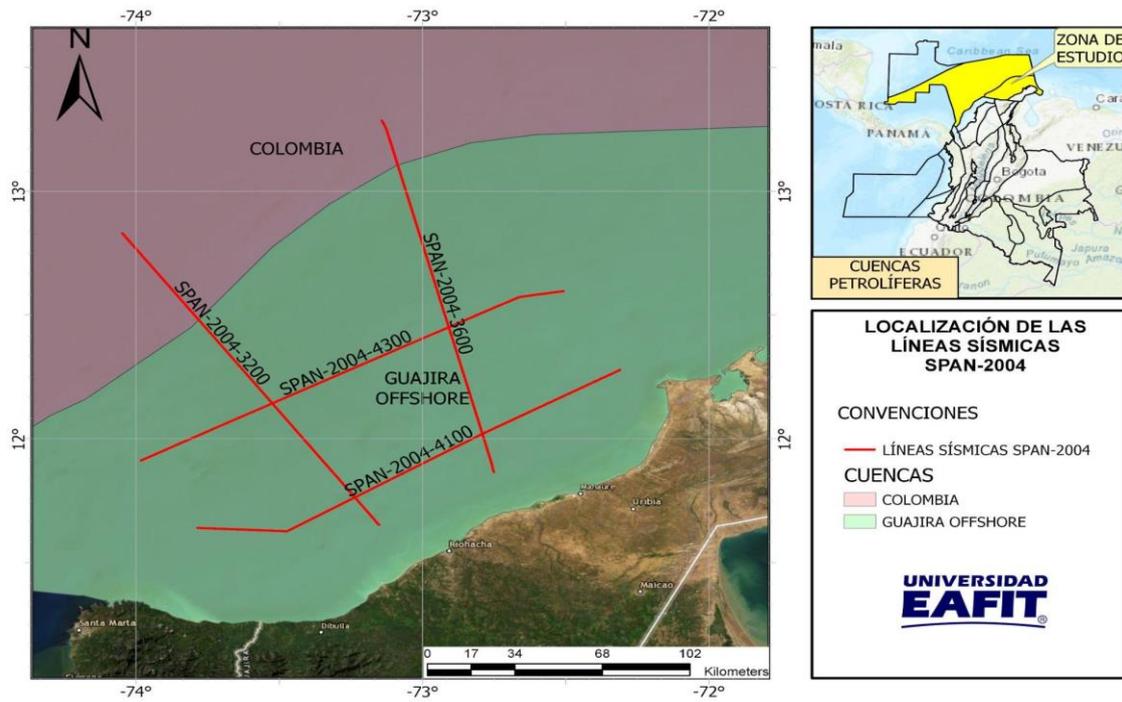
## Introducción

El Caribe colombiano ha sido objeto de diversos estudios sísmicos por su compleja evolución tectonoestratigráfica y por su alto potencial en prospección de hidrocarburos (Mantilla et al., 2009; Escalona y Mann, 2011). En general, se tiene el consenso de que la placa Caribe se originó en el pacífico y se ha desplazado hasta su posición actual subduciendo oblicuamente por debajo de la placa Suramericana (Pindell y Barret, 1990; Mann, 1999). Este evento de escala regional también se evidencia a escala local por la presencia de estructuras de falla, las cuales cortan y controlan el espacio de acomodaciones de las diferentes unidades presentes en el área. La complejidad del área favorece el desarrollo de fallas de rumbo principalmente, sin embargo, también se presentan fallas normales e inversas asociadas a eventos transtensivos y transpresivos respectivamente.

El presente proyecto busca contribuir al entendimiento de la estratigrafía y la evolución tectónica de la región costa afuera del Caribe colombiano por medio de la modelación tectonoestratigráfica de las cuencas Colombia y Guajira *Offshore* con base en la interpretación de las líneas sísmicas SPAN\_3600, SPAN\_3200, SPAN\_4300 y SPAN\_4100 (Figura 1) y la integración con información disponible en la literatura, lo cual tendría aplicaciones directas en el entendimiento de los sistemas petrolíferos y la prospección de hidrocarburos.

El área de estudio se ubica en el margen suroccidental del Caribe colombiano, en las cuencas Colombia y Guajira *Offshore* (Figura 1), las cuales limitan al oeste con la cuenca Sinú *Offshore*, al este con el límite geográfico de Colombia-Venezuela y con la cuenca Venezuela, al norte con el Alto de Nicaragua y al sur con la costa continental de la Guajira.

Con el objetivo de introducir el marco tectonoestratigráfico del área, se presenta una recopilación bibliográfica de los estudios más destacados sobre el tema. Además, se presenta la metodología implementada, la cual consta de un análisis sísmico detallado de las cuatro líneas para definir secuencias tectonoestratigráficas y rasgos estructurales como fallas y diapiros mediante la interpretación de reflectores sísmicos. Los resultados obtenidos muestran un modelo tectonoestratigráfico para las cuencas Colombia y Guajira *Offshore*, el cual permite: i) establecer correlaciones cronoestratigráficas con las secuencias definidas por otros autores; ii) proponer la procedencia de los sedimentos acumulados en las cuencas y en el Cinturón Deformado del Sur del Caribe (CDSC); y iii) asociar las estructuras interpretadas con rasgos tectónicos.



**Figura 1.** Localización de la zona de estudio.

*Nota.* Fuente propia.

## 1. Generalidades

### 1.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es la configuración tectonoestratigráfica de las cuencas Colombia y Guajira *Offshore* y qué estilos estructurales controlan su geometría?

### 1.2 Hipótesis

La configuración tectonoestratigráfica de las cuencas Colombia y Guajira *Offshore* está controlada estratigráficamente por discordancias que permiten definir unidades tectonoestratigráficas, las cuales se encuentran tectónicamente controladas por esfuerzos transcurrentes asociados a la interacción de placa Caribe con el margen noroccidental de Colombia.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 *Objetivo general*

Generar un modelo tectonoestratigráfico de las cuencas Colombia y Guajira *Offshore* en el Caribe Colombiano a partir de la interpretación de líneas sísmicas.

#### 1.3.2 *Objetivos específicos*

- ❖ Interpretar las líneas sísmicas SPAN 2004-3200, 3600, 4100 y 4300 mediante la aplicación del análisis de atributos sísmicos.
- ❖ Realizar un análisis estratigráfico con base en la identificación e interpretación de facies sísmicas.
- ❖ Analizar los rasgos estructurales interpretados en las secciones sísmicas.
- ❖ Generar mapas de contornos de las principales superficies estratigráficas de la zona a partir de los horizontes definidos.
- ❖ Correlacionar las principales secuencias estratigráficas obtenidas con las formaciones propuestas por diferentes autores en la literatura.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Marco tectónico

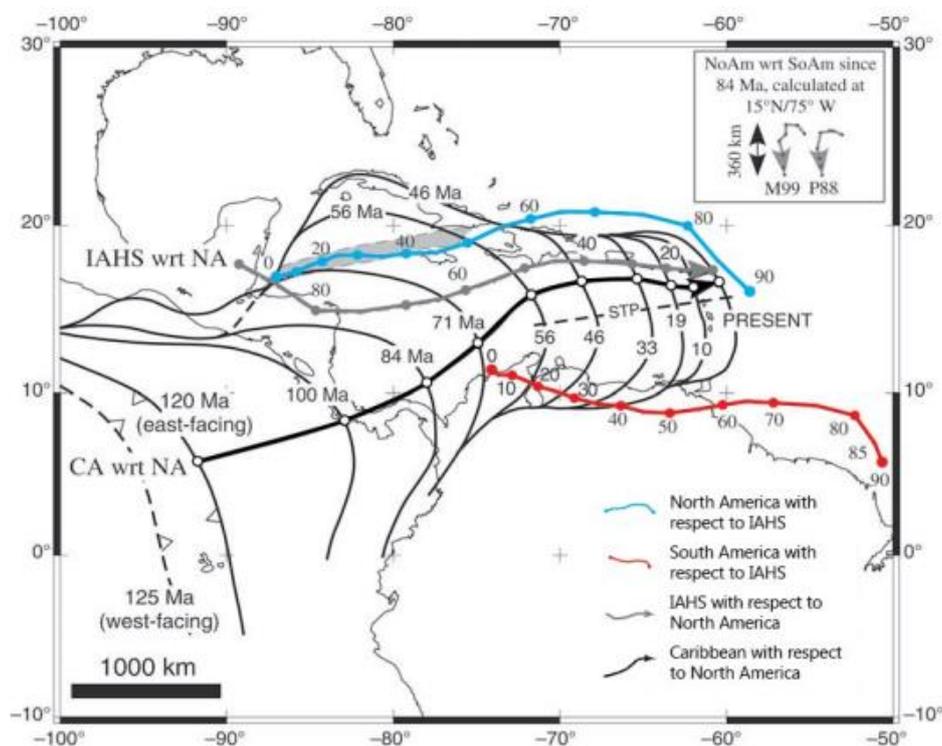
La configuración tectónica de la zona está directamente relacionada con la evolución de la placa Caribe y el efecto de la convergencia oblicua con la Placa Suramericana (Taboada et al., 2000; Flinch et al., 2003; Cortés y Angelier, 2005; Escalona y Mann, 2011; Barat et al., 2014; Bernal- Olaya et al., 2015; Spikings et al., 2015; Naranjo-Vesga et al., 2020).

Existen varios modelos tectónicos que intentan explicar la evolución geológica de esta área de interacción compleja entre placas, por un lado, un origen *in-situ* de la placa Caribe, formándose durante la ruptura del Jurásico-Cretácico orientada al NE entre Norteamérica y Suramérica (e.g. Frisch et al., 1992; Meschede y Frisch, 1998; James, 2005; James, 2009) y, otros modelos alóctonos que implican la formación de la placa Caribe en el océano Pacífico y su posterior migración durante el Cretácico tardío (e.g. Pindell y Barret, 1990; Mann, 1999; Pindell y Kennan, 2009; Galindo, 2016). Además de la controversia del origen de la placa Caribe, también existe el debate de la presencia de una zona de subducción de la placa caribeña debajo de la placa suramericana, esto se debe a que no hay evidencia de vulcanismo generado por esta convergencia. Sin embargo, algunos autores han propuesto esta zona de convergencia debajo de América del Sur occidental y central, con ángulos bajos hacia el este y sureste, formando un prisma de acreción a lo largo del cinturón deformado del Caribe Sur (CDSC) (Ladd et al., 1984; Van Der Hilst y Mann, 1994; Taboada et al., 2000; Galindo, 2016). Trabajos con información geodésica muestran que la placa caribeña actual se mueve 20 mm / año hacia el este en relación con América del Sur a lo largo de las fallas de deslizamiento lateral derecho que golpean este-oeste en Venezuela y Trinidad (Pérez et al., 2001; Weber et al., 2001; Trenkamp et al., 2002; Veloza et al., 2012; Symithe et al., 2015).

En la península de la Guajira y en el norte de Suramérica, se han definido terrenos tectónicos formados durante la creación y el movimiento de la placa Caribe hasta su posición actual, en los que se incluyen: 1) el núcleo de la meseta oceánica de la placa del Caribe con un espesor de la corteza oceánica que varía de 8 a 20 km; 2) el Gran Arco del Caribe (GAC); 3) el prisma de acreción a lo largo del cinturón deformado del Sur del Caribe (CDSC); y 4) las cuencas de antepaís a lo largo del norte de América del Sur (Escalona y Mann, 2011). Estas provincias son explicadas por la formación y el movimiento de la placa Caribe a lo largo del margen de Suramérica.

En la actualidad, la mayoría de los autores están de acuerdo con un origen de la placa Caribe en el pacífico oriental durante el periodo jurásico-cretácico, producto de la separación

de América del Norte (Bloque de Yucatán) y del Sur, ocasionando la expansión del suelo oceánico y formando la corteza conocida como Atlántica/Proto-caribe (Muller et al., 1993; Müller et al., 1999; Pindell y Kennan, 2009; Londoño et al., 2015; Galindo, 2016). Este modelo (Figura 2) implica que en el Aptiano (125-120ma), el Proto-caribe se desplazaba hacia el NNE entre las placas Norteamericana y Suramericana. Este continuo movimiento generó la subducción de la corteza Protocaribeña debajo de la placa Caribe, formando un arco de islas interoceánicas conocido como el Gran Arco del Caribe (GAC) (Burke, 1988; Galindo, 2016). A finales del Cretácico, la placa Caribe es afectada por su paso hacia el NNE por el punto caliente de Galápagos, formando un *plateau* oceánica o CLIP (Caribbean Large Igneous Province) (Burke, 1988; Galindo, 2016; Carvajal Arenas et al., 2020). Este marco geodinámico todavía está activo hoy, representado por el basamento de las cuencas Colombia y Venezuela las cuales hacen partes del CLIP, una meseta oceánica, y las Antillas Menores en el borde oriental del margen convergente Caribe-GAC (Lugo y Mann, 1995; Pindell et al., 2006; James, 2009; Pindell y Kennan, 2009; Basabe Triana, 2018).



**Figura 2.** Evolución de la placa Caribe con respecto a las placas de Norteamérica y Suramérica, desde el Jurásico hasta la actualidad.

*Nota.* Tomado de Galindo (2016), previamente modificado de Pindell y Kennan (2009).

Hacia fines del Cretácico (71 Ma), cesó el evento de extensión que generó la separación de las Américas. En el Eoceno medio (46 Ma), el movimiento hacia el NE de la placa del Caribe se detuvo y la placa comenzó a moverse hacia el este; en cambio el Sur del Caribe se movió hacia el SE aumentando su tasa de subducción debajo de América del Sur a medida que avanzaba la convergencia hacia los Andes colombianos. El movimiento hacia el SE del Caribe continuó durante el Oligoceno (33 Ma) resultando en la formación del prisma de acreción de San Jacinto en la parte noroeste de América del Sur (Pindell y Kennan, 2009).

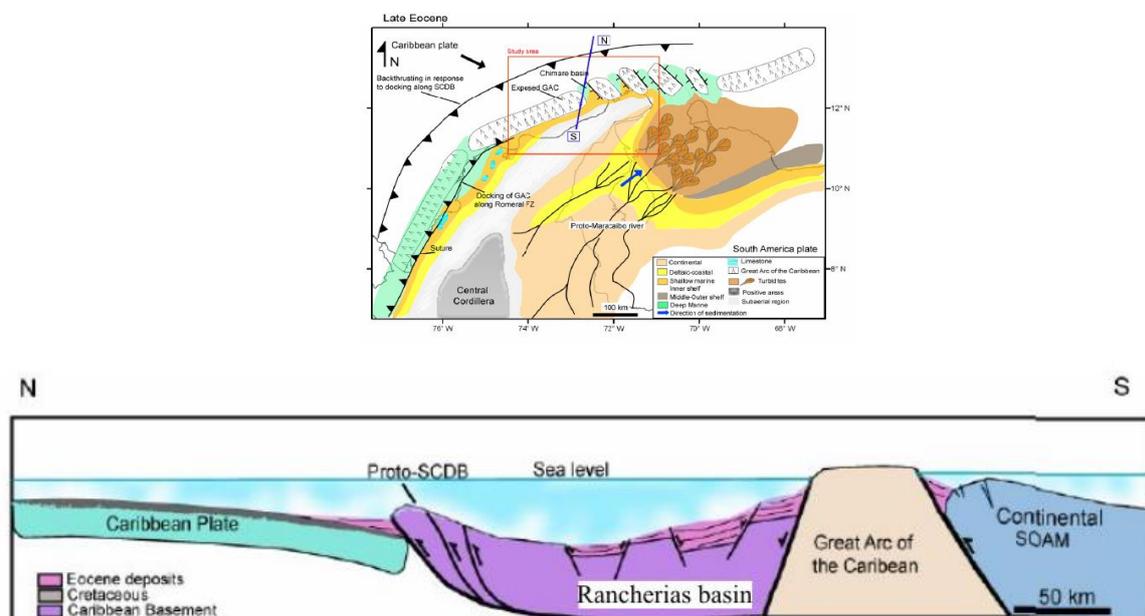
Debido al movimiento y la continua colisión y subducción con dirección SE de la placa Caribe debajo de la placa Suramericana conllevó al continuo desarrollo del CDSC durante el Mioceno temprano. La colisión oblicua en el norte de Venezuela y la mayor convergencia en Colombia conducen a la acumulación del prisma de acreción Sinú y a una fase importante de levantamiento en los Andes colombianos. Posteriormente, en el Mioceno tardío se dio un cambio en el movimiento del Caribe de SE a E, posiblemente generado por el choque continuo del GAC con el margen norte de Suramérica (Vence, 2008), generando cizalladura dextral en el Caribe sur y transpresión hacia el norte (Galindo, 2016).

Evidencias de este movimiento de la placa Caribe en las cuencas *offshore* de la Guajira, se observan en las rocas volcánicas del arco del GAC, las cuales forman un cinturón semicontinuo y arqueado que se extiende 4200 km desde el norte de Centroamérica hasta el norte de Suramérica (Burke, 1988; Vence y Mann, 2020); además del CDSC, el cual se considera como un prisma sedimentario acrecionado y de empuje continuo que va desde el Arco de Panamá hasta el norte de Venezuela (Ladd y Truchan, 1983; Van Der Hilst y Mann, 1994; Trenkamp et al., 2002; Galindo, 2016), presentando variaciones en el estilo estructural a lo largo de esta zona (Galindo y Lonergan, 2020; Naranjo Vesga et al., 2020). Con base a estas evidencias, se propone que la esquina noroeste de Colombia era un margen pasivo creado durante la apertura del mar protocaribe durante el Jurásico tardío y la mayor parte del período Cretácico (Martinez y Hernandez, 1992; Lugo y Mann, 1995; Pindell et al., 2006; James, 2009; Pindell y Kennan, 2009), que posteriormente fue deformado por la llegada del GAC y/o el inicio del CDSC durante el Paleoceno temprano (Vence, 2008; Londoño et al., 2015). La configuración actual de la región del Caribe es el resultado de esta compleja colisión, subducción, acreción y transpresión, entre el Caribe y las placas circundantes (Escalona y Mann, 2011; Galindo, 2016).

## 2.2 Fases tectónicas de las subcuencas *offshore* de la Guajira

Basados en los estudios realizados en el *offshore* de la Guajira, Vence y Mann (2020) propone la ocurrencia de cuatro fases tectónicas posteriores a la colisión del GAC con el margen norte de la Guajira: i), extensión en el Eoceno tardío; ii), transtensión en el Oligoceno; iii), transtensión del Mioceno temprano y sedimentación marina somera; y iv), levantamiento andino en el Mioceno tardío y sedimentación de cuencas *offshore*.

La formación de las cuencas *offshore* de la península de la Guajira está asociadas a las tres primeras fases tectónicas: la cuenca de Ranchería se formó durante la extensión del Eoceno tardío (Figura 3); la cuenca del Cabo de la Vela se formó durante la extensión del Oligoceno; la cuenca Tayrona fue formada por el acortamiento generado por el CDSC y las cuencas de *pull apart* del mioceno temprano están asociadas al movimiento de las fallas de Cuiza y Oca-Ancón (Vence y Mann, 2020).



**Figura 3.** Sección transversal esquemática (con su respectivo mapa de localización) del Eoceno tardío que muestra la formación de la cuenca Ranchería y el empuje de la placa Caribe formando el proto-CDSC.

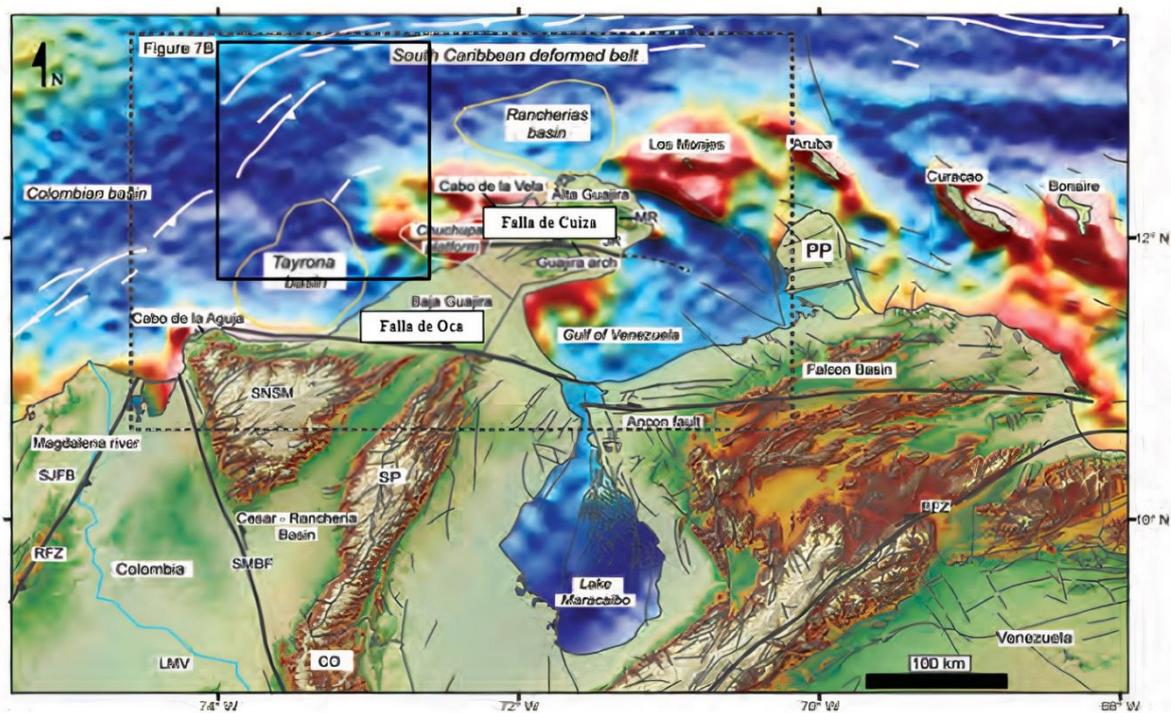
*Nota.* Tomado y modificado de Vence y Mann (2020).

## 2.3 Geología estructural

De acuerdo con la evolución tectónica del Caribe Colombiano, este se divide principalmente en dos estilos estructurales. El primero se localiza entre el Arco de Panamá y Santa Marta, el cual corresponde a un sistema transpresivo de cuñas sedimentarias contiguas de manera oblicua al margen norte de la placa suramericana que transportan cuencas sedimentarias “piggy back” (López, 2005), acompañado de una fuerte actividad diapírica. El

segundo estilo estructural que abarca desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta la alta Guajira, el cual corresponde a un sistema dominado por fallas de rumbo dextrales que conforman un gran sistema transtensivo (García González et al., 2008).

Las principales fallas que limitan y afectan a la zona de estudio **Figura 4** son: i) al sur por la Falla de Oca, la cual es una falla de rumbo con movimiento lateral derecho que hace parte del sistema de fallas Oca-Ancón, que se prolonga desde el norte de la Sierra Nevada de Santa Marta hasta la zona costera de Boca de Aroa al noroeste de Venezuela (Audemard, 1996); ii) al este por la Falla de Cuiza, la cual es una falla de rumbo con componente lateral derecho, que se extiende desde costa afuera al oeste de la Península de la Guajira, hasta el oeste del Golfo de Venezuela (Cediel et al., 2012); y 3) al norte por fallas de cabalgamiento, producto de la compresión que formo el prisma de acreción (Figura 4).



**Figura 4.** Topografía y configuración tectónica del margen noroccidental de América del Sur. SNSM= Macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta, SP= Serranía de Perijá, CG= Cuenca Guajira Offshore, PG= Península de la Guajira, CDSC= Cinturón Deformado del Sur del Caribe, CB= Cuenca Colombia. El rectángulo negro delimita la zona de estudio.

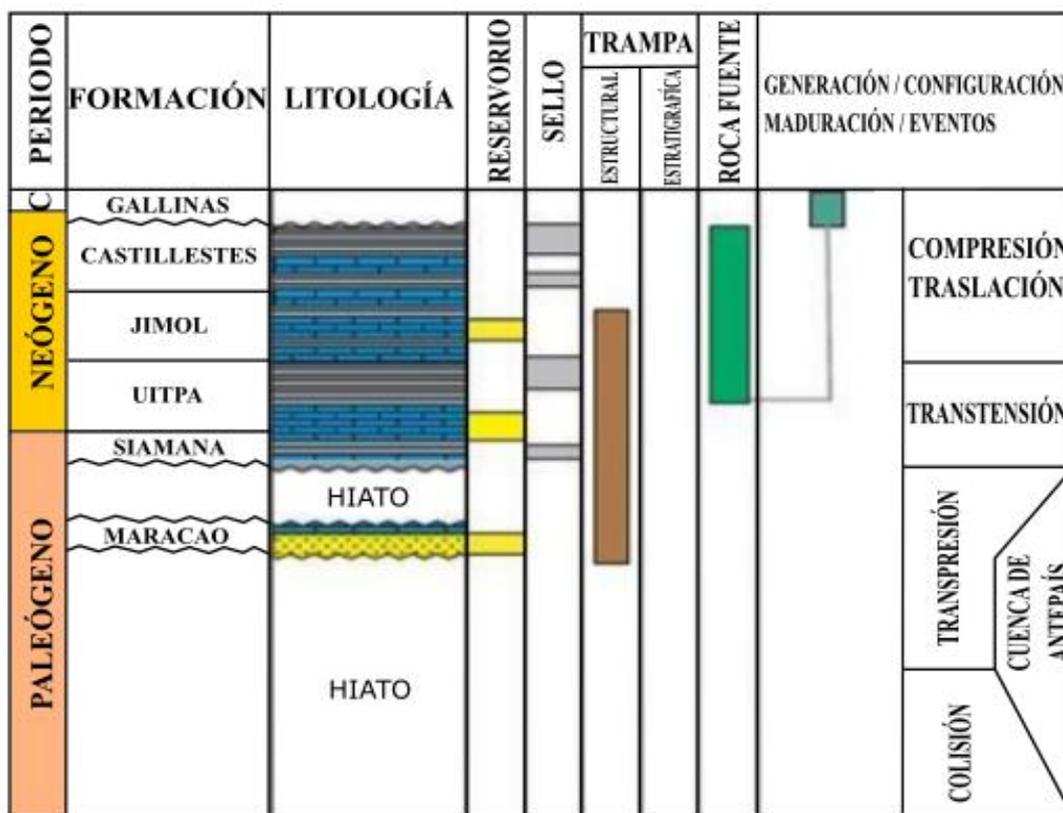
*Nota.* Tomado y modificado de Vence y Mann (2020).

Además de los sistemas de fallas que afectan esta gran zona de deformación, está presente el fenómeno de diapirismo de lodo, que se encuentra especialmente en la zona costera y costa afuera del Caribe (Caro Duque, 1984; Vernet et al., 1992; Ramirez, 2007; Aristizábal et al., 2009).

### 2.4 Estratigrafía

De acuerdo con la evolución tectonoestratigráfica de la zona, se describen a continuación las unidades estratigráficas definidas por diversos autores para las cuencas Colombia y Guajira *Offshore* desde el periodo Paleógeno hasta el cuaternario (Figura 5), incluyendo a las secuencias asociadas al CDSC.

Debido al poco conocimiento que se tiene para la estratigrafía de la cuenca Colombia, se tomará las unidades estratigráficas de la cuenca Guajira *Offshore* para ambas cuencas. Sin embargo, las secuencias de la cuenca Colombia presentan un aporte más oceánico y las de la cuenca Guajira un aporte más continental, esto es debido a la cercanía de cada cuenca con el continente.



**Figura 5.** Columna estratigráfica de las Cuencas Colombia y Guajira *Offshore*.

*Nota.* Tomada y modificada de Barrero et al. (2007).

#### ❖ Formación Maracao

Es definida por Rollins (1960) como una secuencia de arcillas ligeramente calcáreas, y seleníticas. Se reportan a la base capas muy gruesas y gruesas de areniscas con intercalaciones de capas medianas a delgadas de limolitas. La litología de esta Formación se relaciona a un ambiente marino somero a medio, ubicándose en *shoreface* medio a distal. Rollins (1960), ubica la unidad a la base del Cenozoico, asignado por el registro fósil una edad Eoceno tardío.

### ❖ **Formación Siamana**

Esta unidad está constituida por rocas terrígenas y calcáreas (Rollins, 1960). Las primeras están representadas por arenitas calcáreas de grano fino a muy fino, fosilíferas y esporádicamente conglomeráticas. La segunda litología corresponde a rocas calcáreas tipo bioesparitas. También se reportan niveles de limolitas calcáreas, cuya ocurrencia está supeditada a la presencia de las capas arenosas. La unidad ha sido datada por varios autores, ubicándola a lo largo del Oligoceno. Renz (1960), le asigna una edad Oligoceno medio y propone que la parte inferior de la formación pertenece al Oligoceno inferior. Lockwood (1965) data la parte superior de la unidad, proponiendo para esta una edad de Oligoceno superior. Rollins (1960) propone que para esta unidad un ambiente marino profundo y condiciones neríticas.

### ❖ **Formación Uitpa**

Principalmente esta unidad está compuesta por calizas, intercaladas en menor proporción con arcillolitas. Por su litología y fósiles reportados, se propone que esta Formación fue depositada en evento de transgresión (Rubio et al., 1998). De acuerdo con Rollins (1960), esta unidad es del Oligoceno, mientras que Renz (1960) y Rubio et al. (1998) basados en interpretación bioestratigráfica de pozos la consideran de edad Mioceno inferior.

### ❖ **Formación Jimol**

Según Rollins (1960), esta unidad consiste en calizas arenosas muy fosilíferas intercaladas con areniscas calcáreas, de grano medio a grueso. En menor proporción se presentan arcillolitas limosas intercaladas con calizas. Pulido et al. (1991) señalan que esta secuencia se depositó durante el Mioceno tardío, mientras que Rubio et al. (1998) determinan que esta unidad se depositó principalmente en la parte superior del Mioceno medio a Mioceno superior en un ambiente que varía desde continental hasta batial superior.

### ❖ **Formación Castilletes**

Esta unidad está constituida hacia la base por intercalaciones de areniscas calcáreas fosilíferas, lutitas y calizas margosas fosilíferas y estratificación gruesa dominante, mientras que hacia el tope de la sucesión estratigráfica la constituyen arcillolitas limosas intercaladas con capas delgadas de areniscas (Rollins, 1960). Esta unidad fue depositada durante el Mioceno medio-Plioceno inferior en un ambiente marino somero. Según Rubio et al. (1998), con base en análisis bioestratigráficos, esta unidad se depositó en un ambiente de plataforma externa a plataforma interna.

### ❖ **Formación Gallinas**

Para el intervalo Pleistoceno – Holoceno, se han descrito depósitos de arcillolitas arenosas intercaladas con bancos de areniscas de grano medio a grueso y conglomerados con cantos de tamaño decimétrico de origen ígneo, encerrados en una matriz areno-arcillosa (Rollins, 1960).

### ❖ **Secuencias asociadas al CDSC**

Los sedimentos depositados dentro del prisma se interpretan como los sedimentos erosionados en la corteza subducida y los sedimentos depositados en la parte superior del prisma por sistemas deltaicos progradantes procedentes del continente (Galindo, 2016; Galindo y Lonergan, 2020).

### **3. Marco conceptual**

#### **3.1 Estratigrafía sísmica**

La estratigrafía sísmica es una herramienta de interpretación, empleada para la definición de secuencias depositacionales y sus facies sedimentarias a partir de datos sísmicos.

Las secuencias sísmicas definen unidades deposicionales dentro de las cuales los reflectores primarios son paralelos a los planos de estratificación y, por lo tanto, a las superficies paleodeposicionales reales. De modo que, las características fisiográficas del ambiente depositacional bajo el cual se depositaron los sedimentos se muestran en la sección sísmica y pueden usarse para reconstruir eventos tectónicos, predecir facies e inferir el contenido de roca del yacimiento. El proceso de describir e interpretar las características de reflexión sísmica dentro de una secuencia es el análisis de facies sísmicas (Ramsayer, 1979).

#### **3.2 Atributos sísmicos**

Son mediciones, características o propiedades derivadas de los datos sísmicos. Pueden ser medidos en un instante de tiempo o a través de una ventana de tiempo; es posible medirlos en una sola traza, en una serie de trazas, una superficie o un volumen extraído de los datos sísmicos (Aarre y Astratti, 2012).

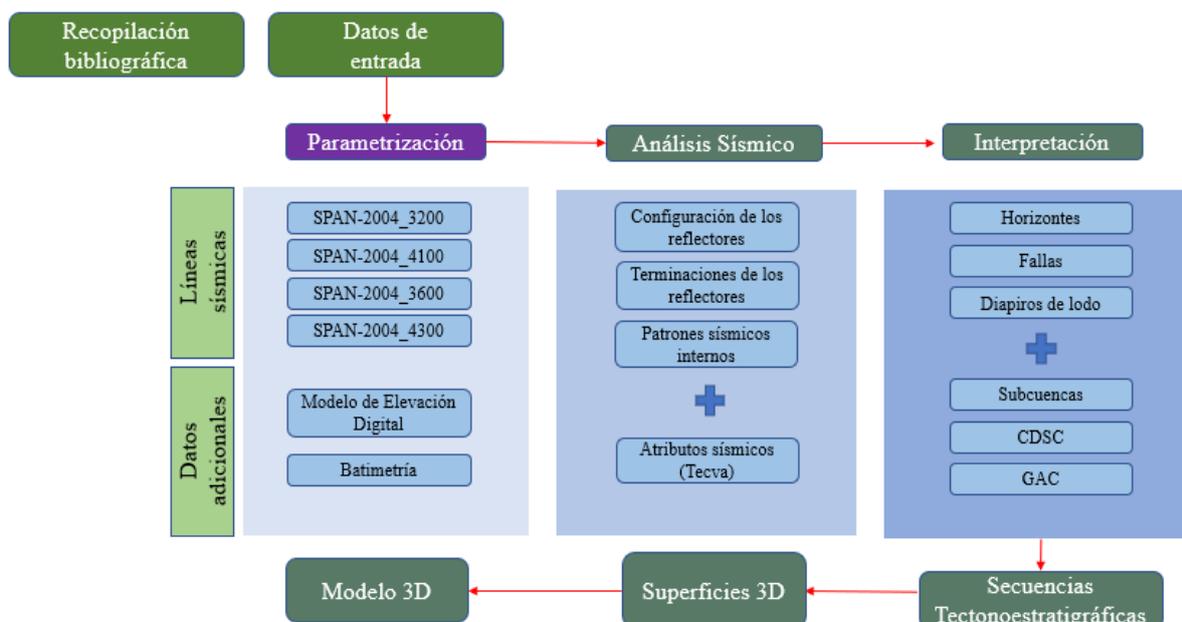
El principal objetivo de la aplicación de atributos es proporcionar observaciones precisas y detalladas de diferentes rasgos geológicos no evidentes a simple vista (Taner, 2001), permitiéndole al intérprete asociar la amplitud sísmica con eventos geológicos, tales como delinear fallas y revelar patrones relacionados con los ambientes de sedimentación, entre otros.

#### 4. Datos y metodología

El presente estudio combina un análisis sísmico 2D, datos batimétricos y modelación tectonoestratigráfica (Figura 6). El área de estudio incluye las cuencas Colombia y Guajira *Offshore* en el Caribe Colombiano.

Los datos usados en este proyecto consisten en 4 líneas de reflexión sísmica 2D SPAN adquiridas en el año 2004, proporcionadas por la ANH. En conjunto, los datos abarcan 680km de longitud y cubren un área aproximada de 34600km<sup>2</sup> (Figura 1). Todas las líneas se encuentran migradas en profundidad (PSDM), llegando hasta los 21000m aproximadamente. Los datos batimétricos son el resultado de la delimitación del piso oceánico en cada línea sísmica.

La metodología adoptada en este proyecto tomará como base la propuesta por Cepeda y Redondo (2021).



**Figura 6.** Metodología adoptada para este proyecto con base a la realizada por Redondo y Cepeda (2021).

*Nota.* Fuente propia.

##### 4.1 Recopilación Bibliográfica

Abarca la recopilación y el análisis de información bibliográfica relacionada a interpretación sísmica, rasgos tectónicos, estructurales, y estratigráficos de las cuencas Colombia y Guajira *offshore* del Caribe Colombiano. Para este trabajo, se tomaron como referentes los trabajos realizados por Vence (2008), Galindo (2016), Mojica (2019) y Vence y Mann (2020).

## 4.2 Interpretación

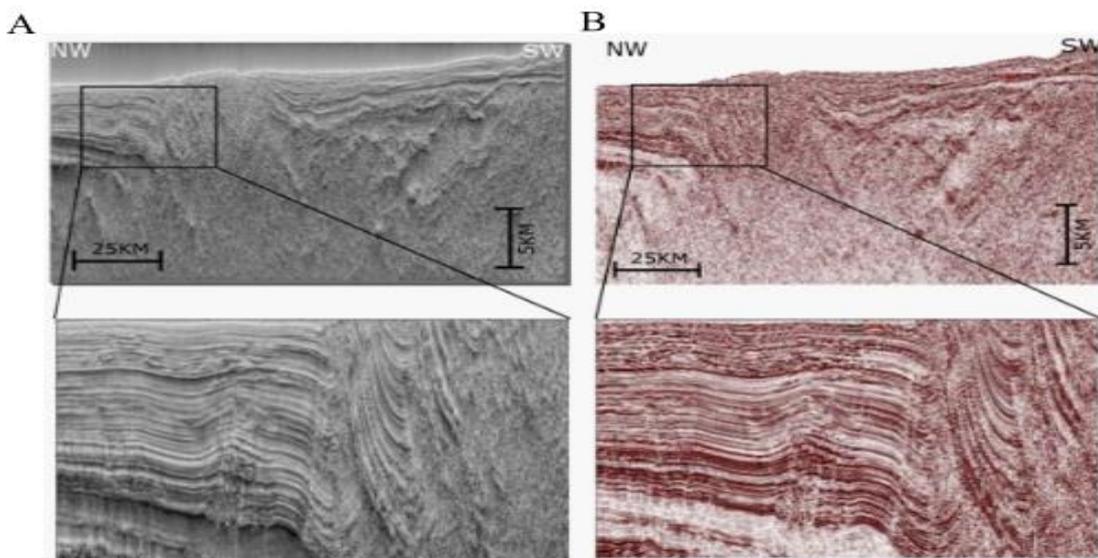
La interpretación de las líneas sísmicas 2D SPAN-2004 3200, 3600, 4100 y 4300 se llevó a cabo realizando los pasos descritos a continuación.

### 4.2.1 Definición de parámetros sísmicos

Se definieron los parámetros de entrada para cada dato sísmico. En primer lugar, se definió el sistema de coordenadas del proyecto como Magna Colombia Bogotá. Después se ingresaron los datos de reflexión sísmica en formato SGY con los parámetros preestablecidos, para la importación de los datos es necesario conocer las trazas en las coordenadas X y Y. En este caso, las trazas están ubicadas en 181 en X y 185 en Y. Se estableció una escala de coordenadas de 0.001 y el dominio en profundidad. Los datos de la sísmica presentaban un origen en ft y se convirtieron a m. Este procedimiento se aplicó para la importación de cada línea sísmica.

### 4.2.2 Atributos sísmicos

Se aplicó el atributo sísmico Tecva a cada dato sísmico (Figura 7), con el fin de obtener una mejor resolución de la imagen y facilitar la interpretación de horizontes y estructuras, tales como fallas y diapirismo de lodo. El Tecva es una técnica de volumen de amplitudes, tiene como propósito generar mapas de amplitud y secciones sísmicas verticales y horizontales que reflejen la geología del subsuelo (M. Bulhões y Nogueira de Amorim, 2005). Este atributo es el resultado del procesamiento de 3 atributos sísmicos a partir del atributo de Volumen: *RMS Amplitude*, *Remove Bias* y *Phase Shift*.



**Figura 7.** A) Línea sísmica 2D SPAN-3200 original. B) Atributo sísmico Tecva aplicado a la línea sísmica 2D SPAN-3200.

*Nota.* Fuente propia.

### 4.3 Interpretación de las secciones transversales

Las líneas sísmicas 2D analizadas se denominan SPAN-3200, SPAN-3600, SPAN-4100 y SPAN-4300. Las dos primeras se orientan en sentido NW-SE y se extienden hasta 163km de longitud, mientras que las líneas SPAN-4100 y SPAN-4300 se orientan paralelamente a la línea de costa en sentido NE-SW y se extienden hasta 180km (Figura 1).

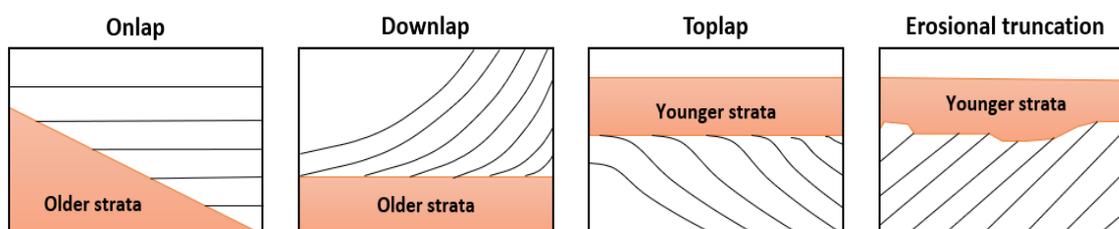
Se procedió a realizar la interpretación de los horizontes y de las estructuras geológicas en las secciones transversales de las líneas sísmicas. Estas superficies se interpretaron en base a relaciones geométricas, configuraciones y terminaciones de los reflectores. La marcación de los horizontes se llevó a cabo siguiendo el mismo reflector con características sísmicas similares en cada una de las 4 líneas sísmicas.

### 4.4 Análisis de Facies sísmicas

A partir de la interpretación de la sección sísmica, se procedió a delimitar las principales secuencias estratigráficas presentes en el área de estudio, tomando como base las características de las reflexiones sísmicas (Mitchum et al., 1977; Ramsayer, 1979; Al-Masgari et al., 2021).

Para el reconocimiento de secuencias depositacionales, a partir de información sísmica, se identifican las siguientes características de los reflectores:

- 1) Terminaciones de los reflectores con respecto a las superficies discordantes (Figura 8) que limitan las secuencias (e.g *onlap*, *downlap*, *toplap* y truncación erosional) a las cuales se les puede atribuir una correlación cronoestratigráfica y un significado geológico (Tabla 1) (Mitchum et al., 1977; Ramsayer, 1979).



**Figura 8.** Terminaciones de los reflectores y su correlación cronoestratigráfica.

*Nota.* Tomado y modificado de Ramsayer (1979).

**Tabla 1.** Significado geológico de las terminaciones de los reflectores sísmicos.

Terminación de los reflectores	Significado Geológico
<i>Onlap</i>	Agradación Transgresión
<i>Downlap</i>	Progradación
<i>Toplap</i>	Erosión

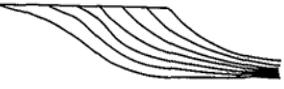
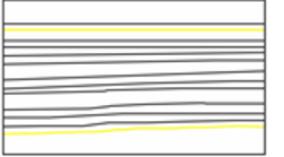
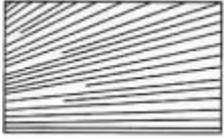
## Tectónica

Truncación erosional	Hiato
	Progradación deltaica

*Nota.* Tomado de Mojica Gonzales (2019).

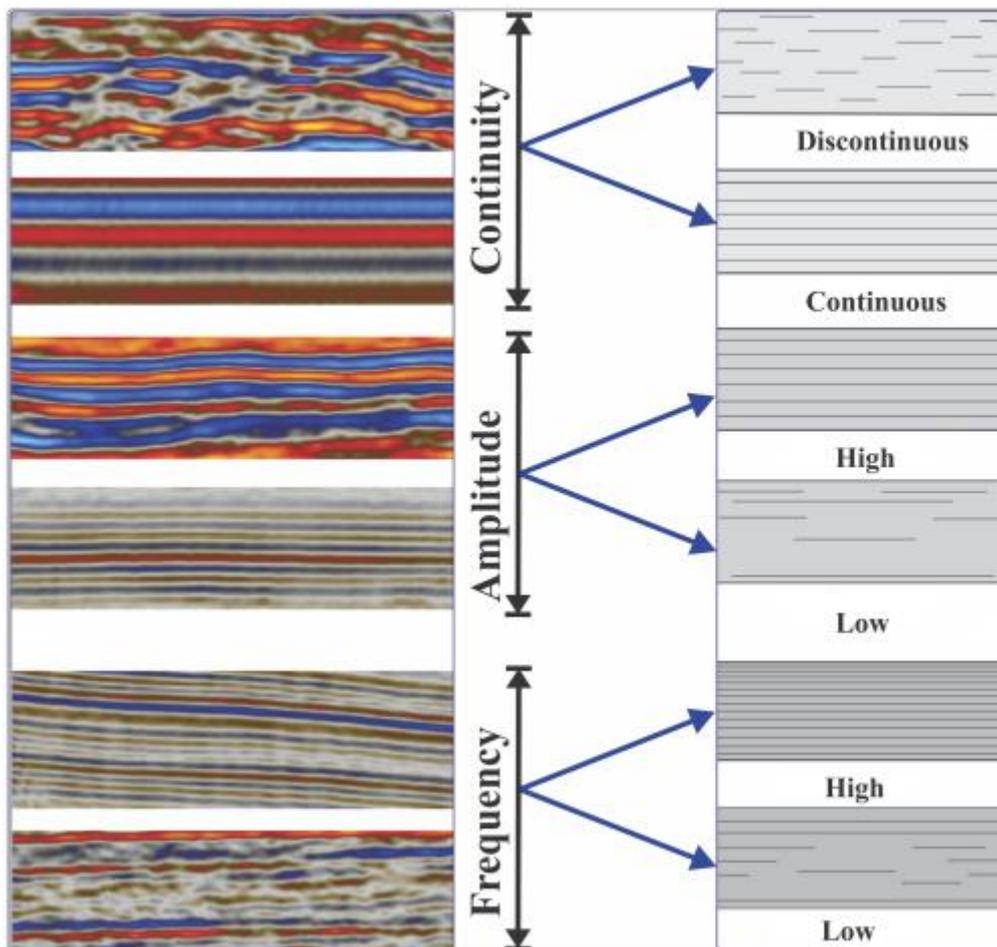
- 2) Características internas de las reflexiones sísmicas, las cuales difieren de las de los patrones pertenecientes a las unidades adyacentes, basados en la geometría de los reflectores dentro de la secuencia y la forma externa de la secuencia (Mitchum et al., 1977; Ramsayer, 1979). De estas se pueden interpretar los posibles ambientes depositacionales y distribución de litofacies (Tabla 2).

**Tabla 2.** Características internas de las reflexiones sísmicas, con su respectiva interpretación geológica y representación.

Patrones sísmicos	Interpretación	Representación
Sigmoidal (Progradacional)	Propagación desde los márgenes de la cuenca. Acreción lateral hasta formar pendientes suaves. Tasa de aporte importante.	
Oblicuo (Progradacional)	Progradación desde los márgenes de la cuenca. Acreción lateral hasta formar pendientes suaves.	
Complejo Sigmoidal-Oblicuo (Progradacional)	Episodios alternos de progradación y agradación. Grandes deltas que progradan a aguas profundas.	
Paralelo	Deposición en un ambiente amplio y uniforme. Sedimentación y acomodación constante.	
Divergente	Engrosamiento hacia la cuenca. Variación lateral de las tasas de sedimentación. Basculamiento sin-deposicional de la cuenca.	
Caótico	Rocas ígneas o metamórficas (Sin estructura). Deposición en ambientes de alta energía. Deformación sin-sedimentaria.	

*Nota.* Tomado y modificado de Ramsayer (1979); Mojica (2019).

- 3) Variables significativas en la continuidad de la reflexión, la amplitud, la frecuencia y velocidad del intervalo de los reflectores sísmicos (Figura 9) se deben tomar en cuenta para las definiciones de facies sísmicas (Mitchum et al., 1977; Ramsayer, 1979).



**Figura 9.** Configuraciones de los reflectores sísmicos.

*Nota.* Tomado de Al-Masgari et al (2021).

### Parámetros:

**Continuidad:** La continuidad de un reflector sísmico está relacionado a la extensión lateral de un estrato (Al-Masgari et al., 2021).

**Amplitud:** La amplitud de un reflector ilumina las diferentes densidades de los estratos y la velocidad de transmisión de las ondas acústicas a través de diferentes litologías; este parámetro ayuda a entender las variaciones laterales dentro de las secuencias (Al-Masgari et al., 2021).

**Frecuencia:** La frecuencia se define por la separación entre reflectores, esta depende de la distancia entre los estratos y las alteraciones laterales en la velocidad de las ondas acústicas por diferencias en la litología (Al-Masgari et al., 2021).

## 5. Resultados

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos de la interpretación estructural y estratigráfica; los resultados incluyen correlación de las secuencias sísmicas, mapas de contornos y un modelo tectonoestratigráfico a partir de las principales superficies identificadas para el área definida por las líneas sísmicas 2D SPAN-3200, SPAN-3600, SPAN-4100, SPAN-4300.

### 5.1 Estratigrafía sísmica

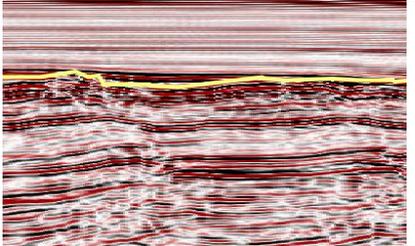
Siguiendo la metodología adoptada en este estudio, se llevó a cabo la interpretación de las reflexiones sísmicas utilizando los conceptos estratigráficos sísmicos. La interpretación implicó el análisis de facies sísmicas, basados en las características internas, las configuraciones de los reflectores y las terminaciones de la reflexión, con el fin de identificar secuencias sísmicas o paquetes de reflectores (estratos) consistentes delimitados por discordancias.

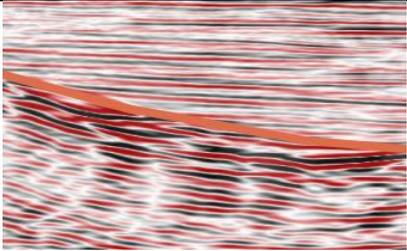
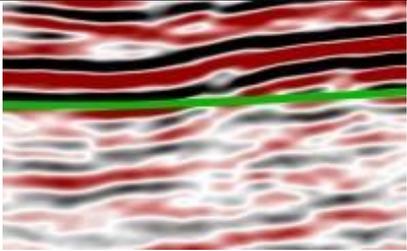
#### 5.1.1 Interpretación de horizontes

En este módulo, se presenta la interpretación de reflectores y facies sísmicas definidos para las cuencas Colombia y Guajira *Offshore*. Los reflectores fueron seleccionados debido a que permiten separar una secuencia sísmica de otra, es decir, paquetes sísmicos con atributos similares (continuidad, amplitud, frecuencia) y diferenciables de los paquetes adyacentes. Estos reflectores fueron identificados y correlacionados para cada línea sísmica. Sin embargo, algunos horizontes no fueron delimitados en todas las líneas, debido a que los reflectores no se alcanzan a observar y/o no presentaban las mismas características.

Para la cuenca Guajira *Offshore*, se obtuvieron 8 superficies que corresponden a cada uno de los horizontes interpretados, los cuales siguiendo el principio de superposición de estratos se nombraron del más antiguo al más reciente. La nomenclatura definida en este proyecto seguirá la establecida por Redondo y Cepeda (2021) como: HC-1, HC-2, HC-3, HC-4, HC-5, HC-6, HC-7 y HC-8 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Criterios de selección mediante los cuales fueron definidos los horizontes de la cuenca Guajira Offshore.

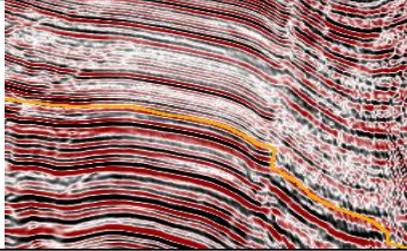
<b>Horizonte</b>	<b>Criterio</b>	<b>Representación</b>
HC-8	Corresponde a un reflector continuo de alta amplitud, que separa reflectores de baja amplitud de reflectores de alta amplitud y baja frecuencia.	
HC-7	Reflector continuo de alta amplitud, que separa reflectores paralelos de baja amplitud y baja frecuencia de reflectores de alta amplitud, alta frecuencia y continuos.	
HC-6	Corresponde a un reflector continuo de alta amplitud, que separa reflectores paralelos de baja amplitud y baja frecuencia de reflectores de alta amplitud, alta frecuencia y continuos. Representa una discordancia.	
HC-5	Reflector continuo de alta amplitud, que separa reflectores paralelos de alta amplitud y alta frecuencia de reflectores de baja amplitud y baja frecuencia.	
HC-4	Reflector continuo, paralelo considerado como una discordancia local, que separa reflectores paralelos de alta amplitud de reflectores de baja amplitud y frecuencia.	
HC-3	Reflector continuo, que representa una discordancia local, este divide reflectores continuos de alta amplitud de reflectores discontinuos con baja amplitud y baja frecuencia.	

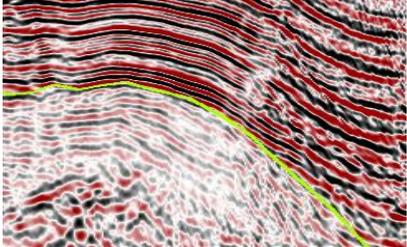
Horizonte	Criterio	Representación
HC-2	Corresponde a un reflector de alta amplitud, el cual presenta en la mayoría de las líneas sísmicas discontinuidad lateral; separa reflectores paralelos de baja amplitud de reflectores de alta amplitud. Representa una discordancia que está evidenciada por las truncaciones de los reflectores.	
HC-1	Reflector continuo de alta amplitud en la mayor parte de los datos sísmicos. Corresponde a una discordancia que es identificada a partir del cambio de impedancia de baja a alta.	

*Nota.* Fuente propia.

Para la cuenca Colombia, se interpretaron 4 superficies que corresponden a los horizontes interpretados. Se nombran desde el más antiguo al reciente como HO-1, HO-2, HO-3 y HO-4. En la Tabla 4 se muestran los criterios de selección definidos para dichos horizontes.

**Tabla 4.** Criterios de selección mediante los cuales fueron definidos los horizontes de la cuenca Colombia.

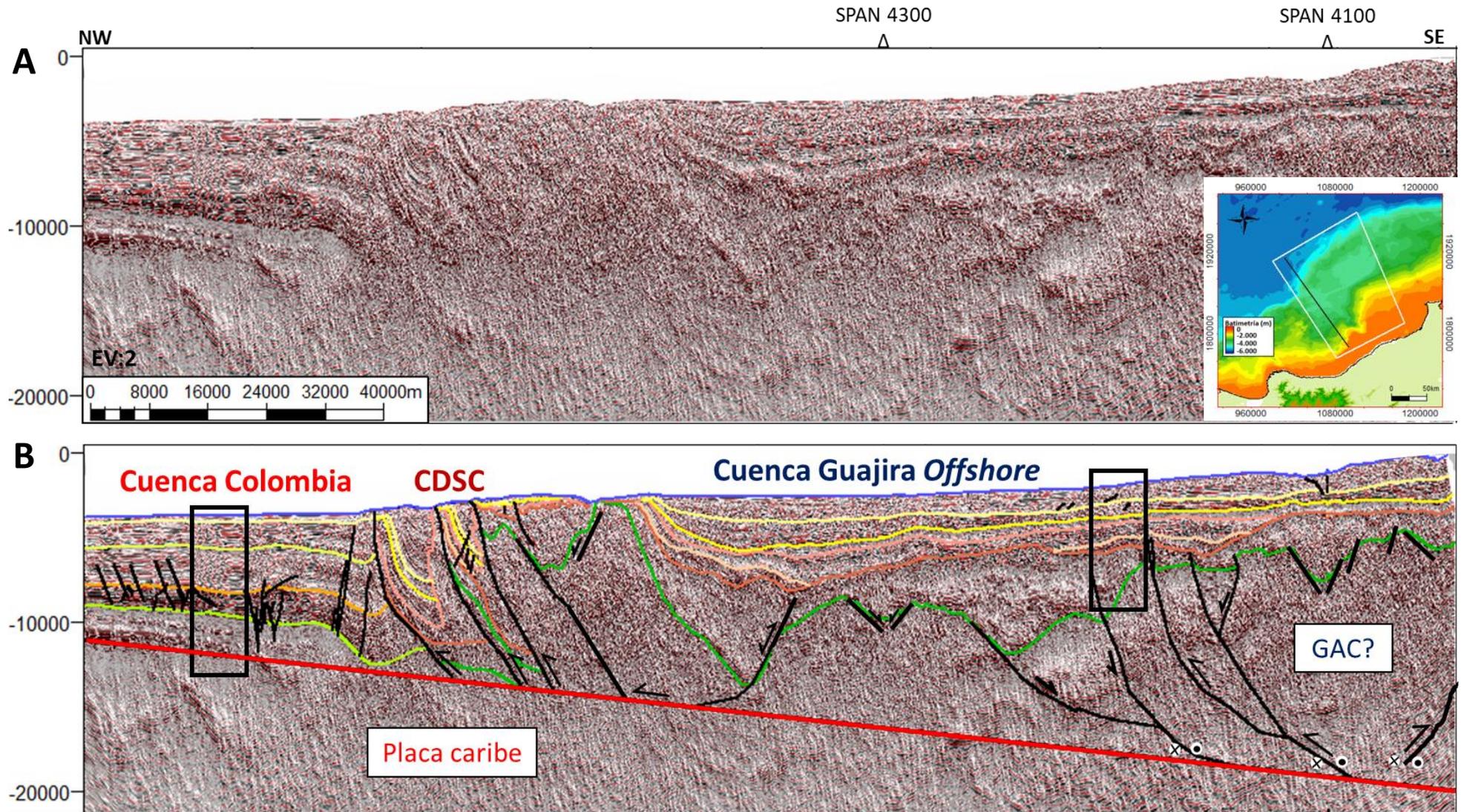
Horizonte	Criterio	Representación
HO-4	Reflector continuo de alta amplitud, que separa reflectores paralelos de alta amplitud en la base de reflectores discontinuos que presentan tanto baja frecuencia como baja amplitud en el tope.	
HO-3	Reflector de alta amplitud que es considerado como una discordancia, que divide reflectores de baja y alta amplitud de reflectores de baja frecuencia y alta amplitud.	
HO-2	Reflector continuo de alta amplitud, que separa reflectores de alta amplitud de reflectores que presentan intercalaciones entre baja y alta amplitud.	

Horizonte	Criterio	Representación
HO-1	Reflector de alta amplitud que corresponde a una discordancia regional, que separa reflectores continuos en la mayoría de la sísmica de reflectores caóticos de baja amplitud.	

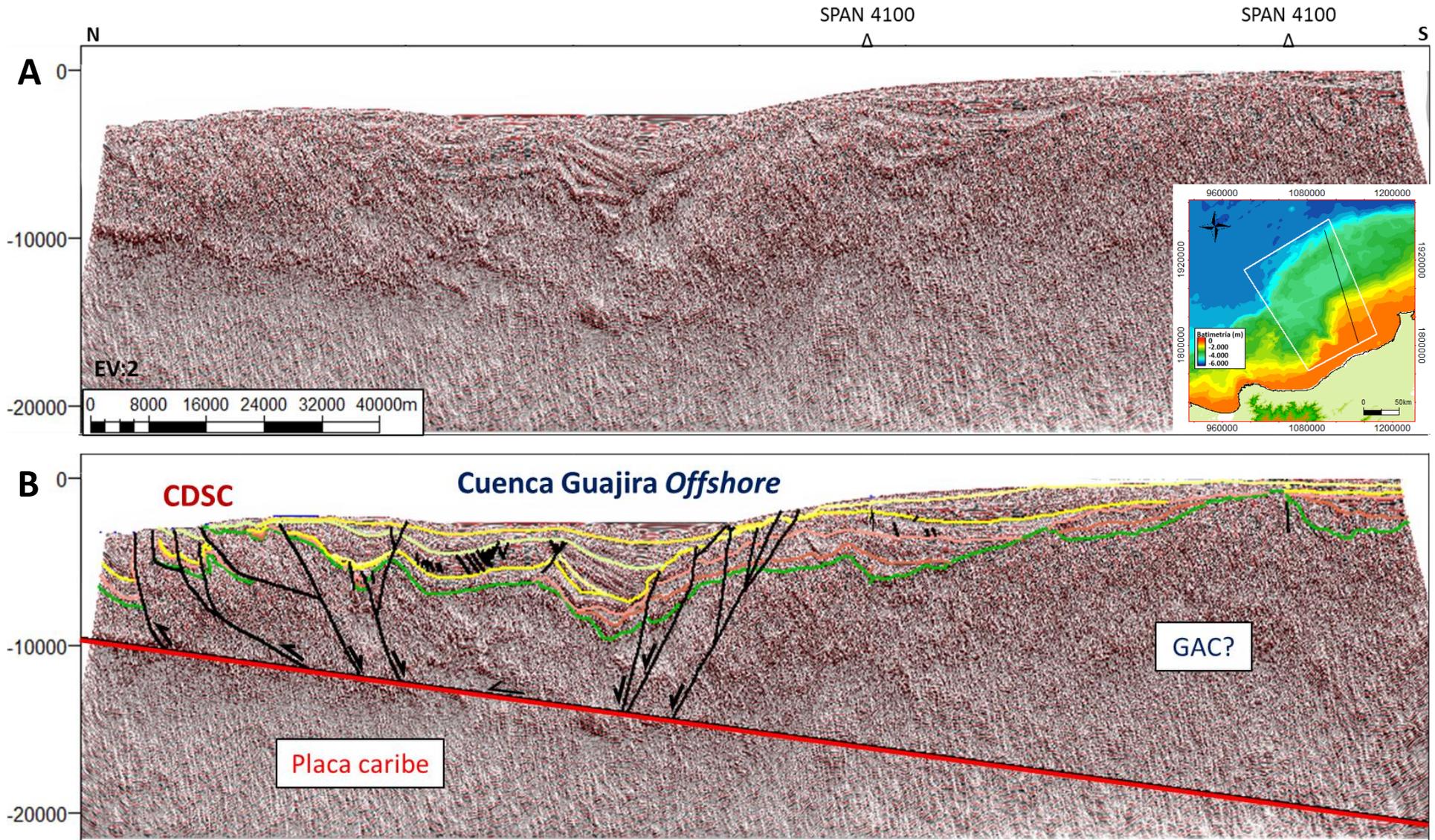
*Nota.* Fuente propia.

### **5.1.2 Secuencias tectonoestratigráficas de la cuenca Guajira Offshore**

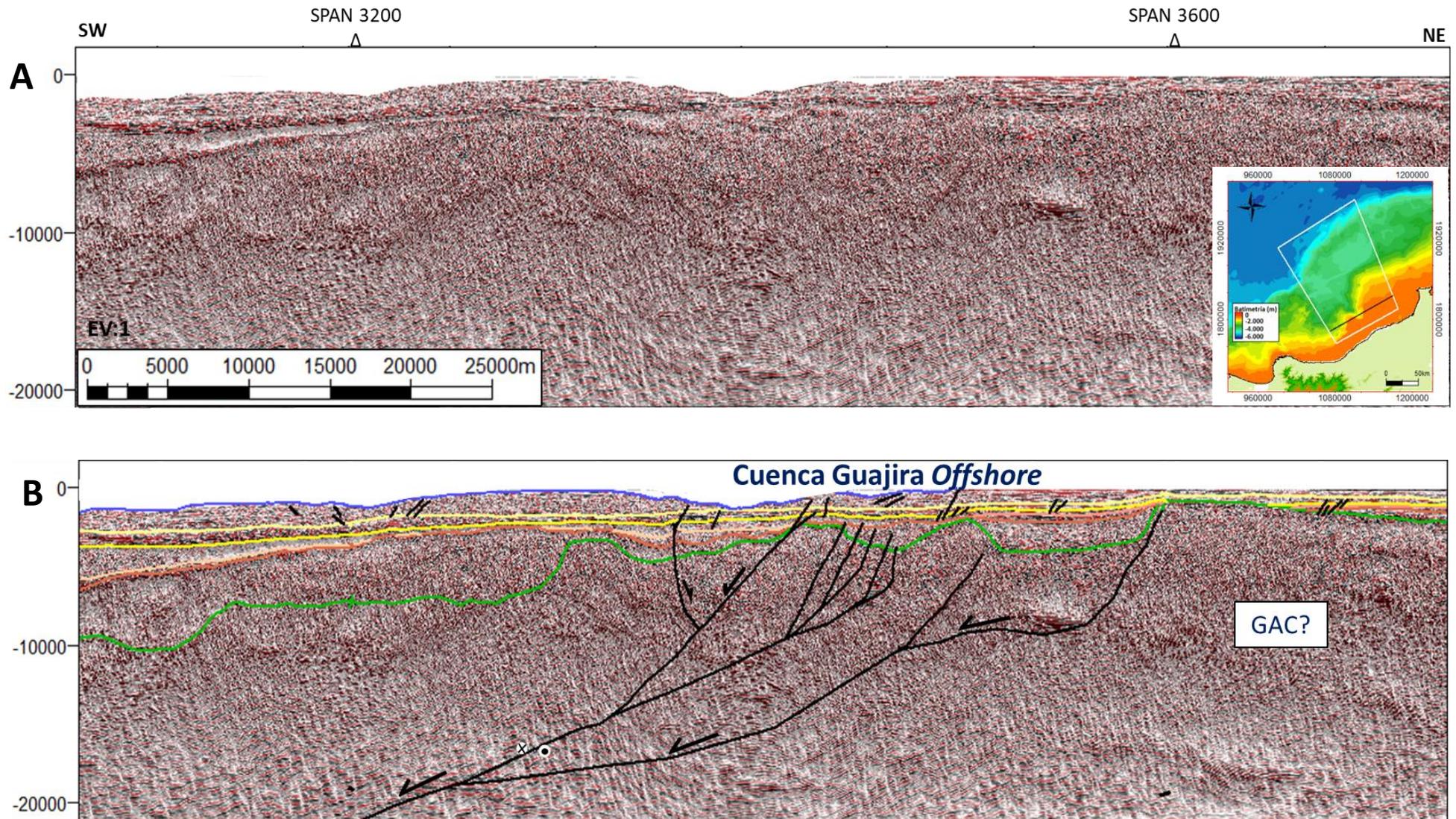
La interpretación de los horizontes en las secciones transversales permitió definir las unidades tectonoestratigráficas. Estas unidades seguirán la nomenclatura propuesta por Redondo y Cepeda (2021) como: S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 y S8 para la cuenca Guajira *Offshore* y S9, S10, S11 y S12 para la cuenca Colombia. Debido a que en algunas líneas sísmicas no están presentes todas las secuencias, se mencionará una por una y luego se explicarán las características de las secuencias definidas para este proyecto.



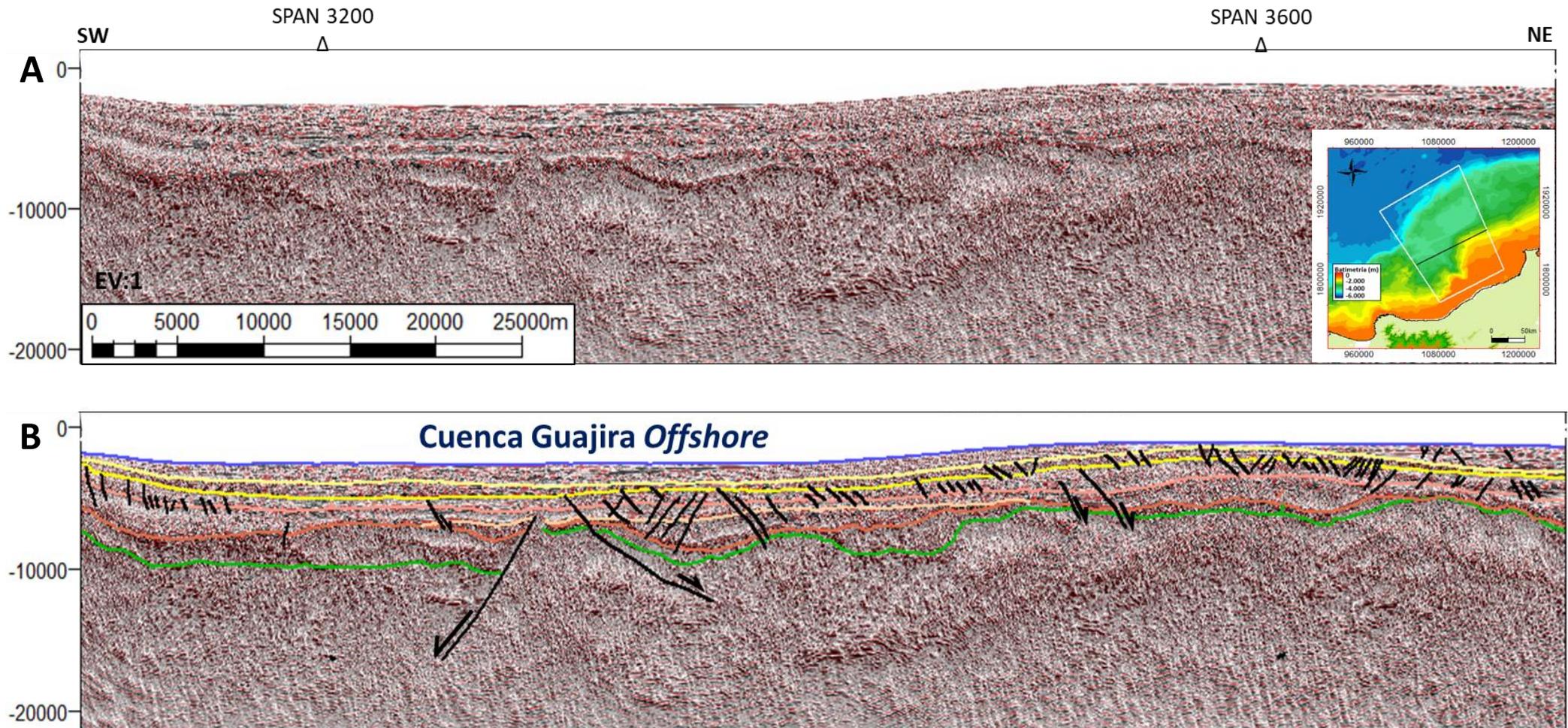
**Figura 10.** A) Línea sísmica 2D SPAN-3200 con su respectivo mapa de ubicación y batimetría de la zona de estudio. B) Línea sísmica 2D SPAN-3200 con interpretación de las secuencias tectonoestratigráficas para las cuencas Guajira Offshore y Colombia. Los rectángulos negros indican las secciones representativas de la Figura 31. EV.3 (Exageración vertical).



**Figura 11.** A) Línea sísmica 2D SPAN-3600 con su respectivo mapa de ubicación y batimetría de la zona de estudio. B) Línea sísmica 2D SPAN-3600 con interpretación de las secuencias tectonoestratigráficas para la cuenca Guajira Offshore. El rectángulo negro indica la sección representativa de la Figura 31. EV. 3. Nota. Fuente propia.



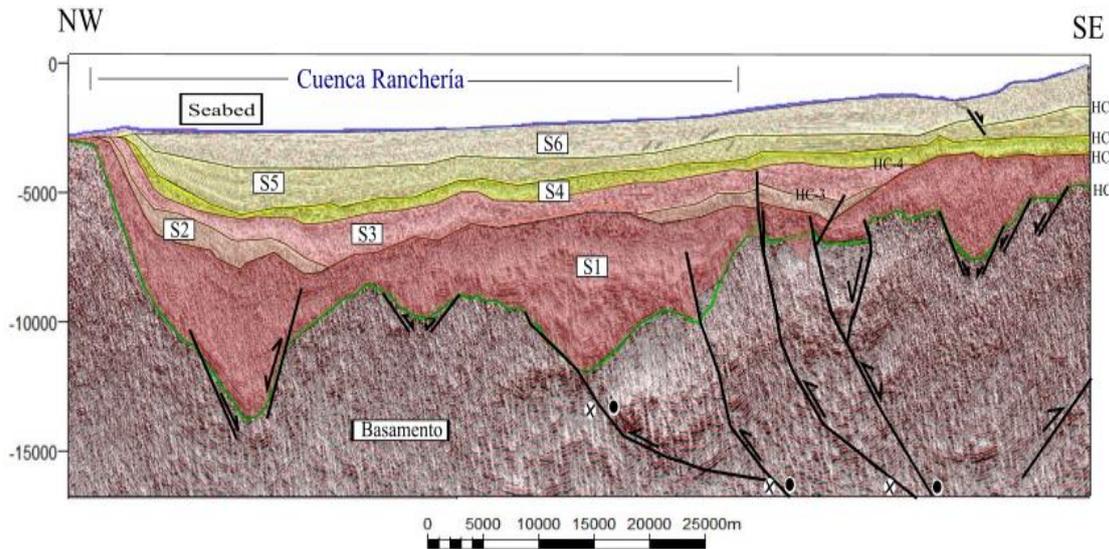
**Figura 12.** A) Línea sísmica 2D SPAN-4100 con su respectivo mapa de ubicación y batimetría de la zona de estudio. B) Línea sísmica 2D SPAN-4100 con interpretación de las secuencias tectonoestratigráficas para la cuenca Guajira Offshore. EV. 2.



**Figura 13.** A) Línea sísmica 2D SPAN-4300 con su respectivo mapa de ubicación y batimetría de la zona de estudio. B) Línea sísmica 2D SPAN-4300 con interpretación de las secuencias tectonoestratigráficas para la cuenca Guajira Offshore. EV. 2.

Nota. Fuente propia.

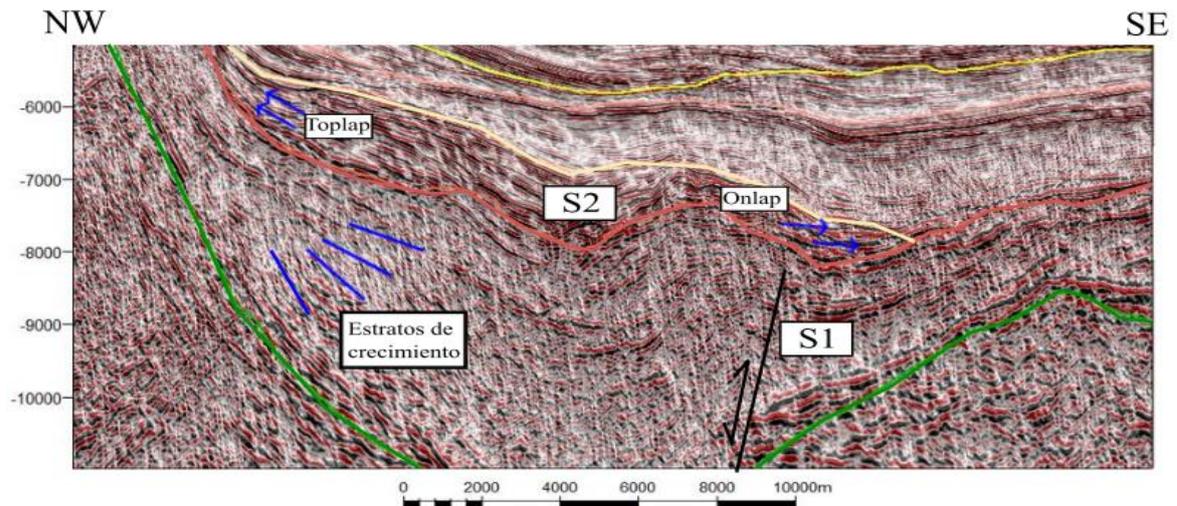
**Basamento acústico:** El tope del basamento acústico en la parte de la cuenca Guajira offshore está representado por el horizonte HC-1 (Figura 14) y para la cuenca Colombia está delimitado por el HO-1. La configuración sísmica del basamento se caracteriza por presentar reflectores caóticos, discontinuos, de amplitud y frecuencia baja.



**Figura 14.** Horizontes y secuencias tectonoestratigráficas definidas en la línea sísmica SPAN-3200 para la cuenca Guajira Offshore. EV. 2,5.

*Nota.* Fuente propia.

**Secuencia S1:** La secuencia S1 es la primera que se deposita en la cuenca Guajira Offshore. Se encuentra limitada por los horizontes HC-1 y HC-2 en su base y tope respectivamente. Al realizar el análisis de facies sísmicas (Ramsayer, 1979), se obtuvo que esta secuencia se caracteriza por presentar reflectores de baja amplitud y baja frecuencia; además, se observa un patrón interno divergente (Figura 15) asociado a estratos de crecimiento. El horizonte base está representado en la mayoría de las líneas sísmicas por la discordancia con el posible basamento ígneo del GAC. Se aprecian espesores variables; entre 200m en dirección hacia el CDSC donde se pinchan todas las secuencias, hasta 2500m en la subcuenca Ranchería.

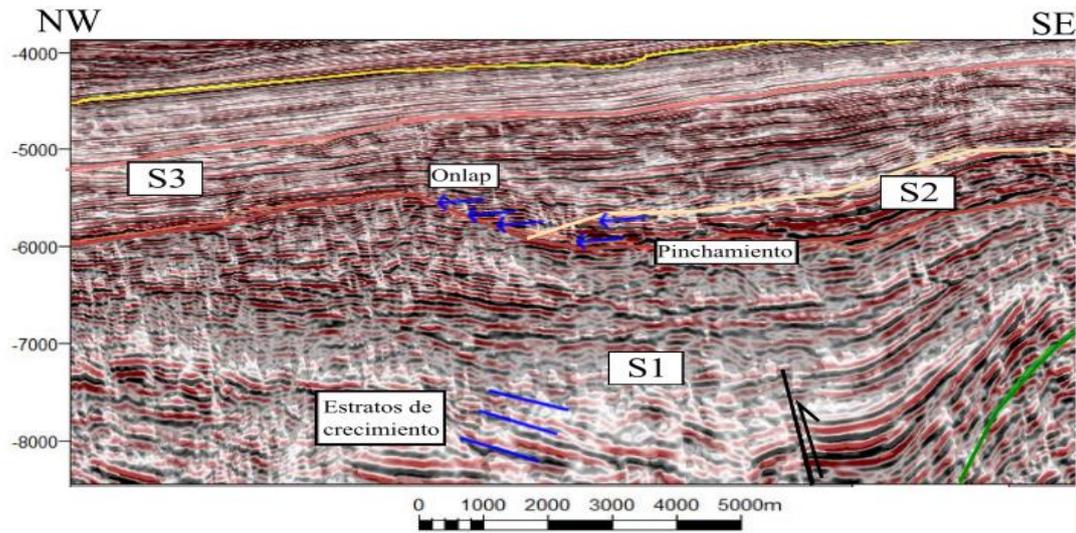


**Figura 15.** Estratos de crecimiento y terminaciones de los reflectores para las secuencias S1 y S2 respectivamente; localizados en la línea SPAN-3200. EV. 2,5.

*Nota.* Fuente propia.

**Secuencia S2:** En general esta secuencia es la que presenta menor continuidad en las líneas sísmicas y menores espesores. Se encuentra limitada por los horizontes HC-2 y HC-3 a la base y tope respectivamente (Figura 14). La secuencia se deposita en terminaciones onlap con la secuencia S1 y terminaciones toplap con el alto de basamento (Figura 15). Teniendo en cuenta la clasificación e interpretación de las facies sísmicas, se identificó una facies con reflectores principalmente discontinuos de moderada-alta amplitud y baja frecuencia, los cuales presentan una configuración interna divergente hacia el cinturón deformado, indicando así, engrosamiento hacia el centro de la cuenca. Los espesores de esta secuencia varían entre 100m y 2000m.

**Secuencia S3:** Esta secuencia suprayace la secuencia S2 y en la mayoría de las líneas sísmicas se acumula discordantemente sobre la secuencia S1 (Figura 16). Se encuentra limitada por los horizontes HC-3 y HC-4 a la base y tope respectivamente (Figura 14). A lo largo de los perfiles sísmicos, se identificaron reflectores en configuración paralela, con moderada-baja amplitud y baja frecuencia. Al igual que en las demás secuencias, se puede observar un patrón sísmico divergente para S3, el cual se interpreta como estratos de crecimiento en dirección hacia la cuenca; los reflectores presentan terminaciones tipo *toplap* con el basamento y *onlap* con la secuencia S1. En general, la secuencia S3 presenta espesores uniformes de 1000m que disminuyen hacia los bordes de la cuenca donde se pincha.

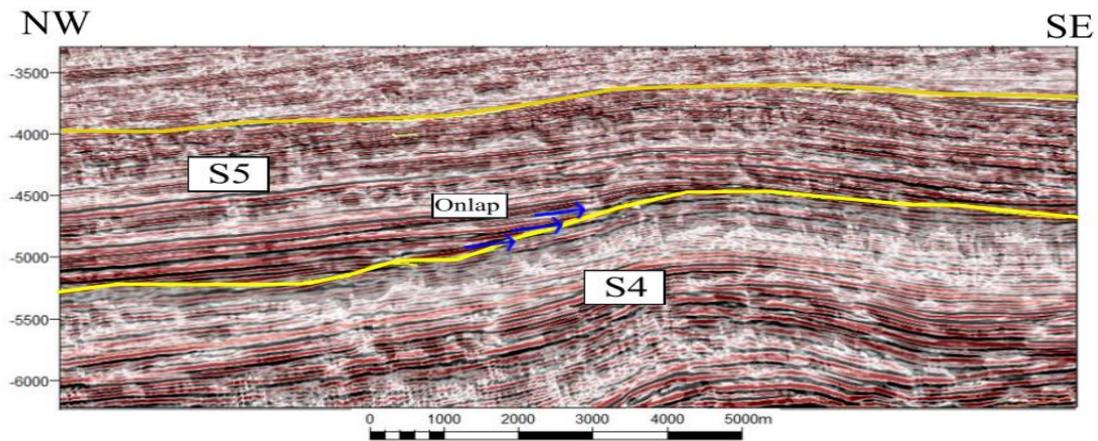


**Figura 16.** Truncaciones de los reflectores y la discordancia observada entre las secuencias S3 y S1; localizados en la línea SPAN-3200. EV. 1,7.

*Nota.* Fuente propia.

**Secuencia S4:** Las facies sísmicas interpretadas de esta unidad presentan una configuración de los reflectores caótica. En general, estos se muestran continuos y con amplitudes y frecuencias de moderadas a bajas; sin embargo, en algunos sectores se presentan reflectores discontinuos con alta amplitud (Figura 17). En la parte norte de la línea SPAN-3200, se interpreta que la secuencia S4 suprayace discordantemente sobre el basamento (Figura 14); sus terminaciones son definidas como *toplap*. El espesor de esta unidad es más constante que en las otras secuencias de la cuenca, alcanzando espesores de hasta 2000m, pero también se caracteriza por un leve pinchamiento hacia el cinturón deformado.

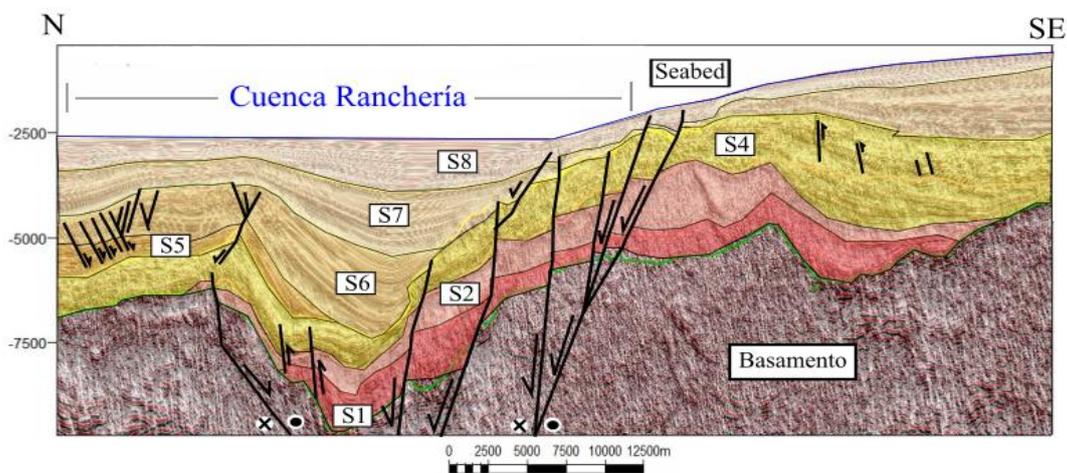
**Secuencia S5:** La secuencia S5 suprayace la secuencia S4 y está limitada por los horizontes HC-5 en su base, y HC-6 en su tope (Figura 14). Las facies sísmicas de esta secuencia se caracterizan principalmente por la presencia de reflectores concordantes, discontinuos y paralelos, con alta frecuencia e “intercalaciones” entre capas delgadas con altas amplitudes y bajas amplitudes (Figura 17), además, se evidencian terminaciones en Onlap contra la secuencia S4 (Figura 14). Al igual que las secuencias descritas anteriormente, S5 se presenta como un estrato de crecimiento; espesores mayores hacia el centro de la cuenca, de hasta 2200m, que van disminuyendo en las proximidades con el CDSC.



**Figura 17.** Terminaciones en onlap de los reflectores de la secuencia S5 en discordancia con la secuencia S4; localizados en la línea SPAN-3200. EV. 1,4.

Nota. Fuente propia.

**Secuencia S6:** Esta secuencia suprayace la secuencia S5 concordantemente y se trunca con la secuencia S4 en su extremo SE (Figura 18). Se encuentra limitada por el horizonte HC-6 en la base y por el horizonte HC-7 en el tope, aunque en algunas partes se encuentra limitado directamente por el *Seabed*, es decir, no se depositan más sedimentos sobre la secuencia S6. Teniendo en cuenta la clasificación e interpretación de las facies sísmicas, se identificaron facies caracterizadas por reflectores principalmente discontinuos de baja amplitud y baja frecuencia, que presentan hacia el cinturón deformado una configuración interna divergente con terminaciones tipo *onlap* con la secuencia S5 y, una configuración paralela para el resto de la secuencia. El espesor de esta secuencia es variable; entre 100m hacia el CDSC, hasta los 2500m en el depocentro que correspondería a la subcuenca Ranchería.



**Figura 18.** Secuencias tectonoestratigráficas definidas en la línea SPAN-3600 para la cuenca Guajira Offshore. EV. 3,5.

Nota. Fuente propia.

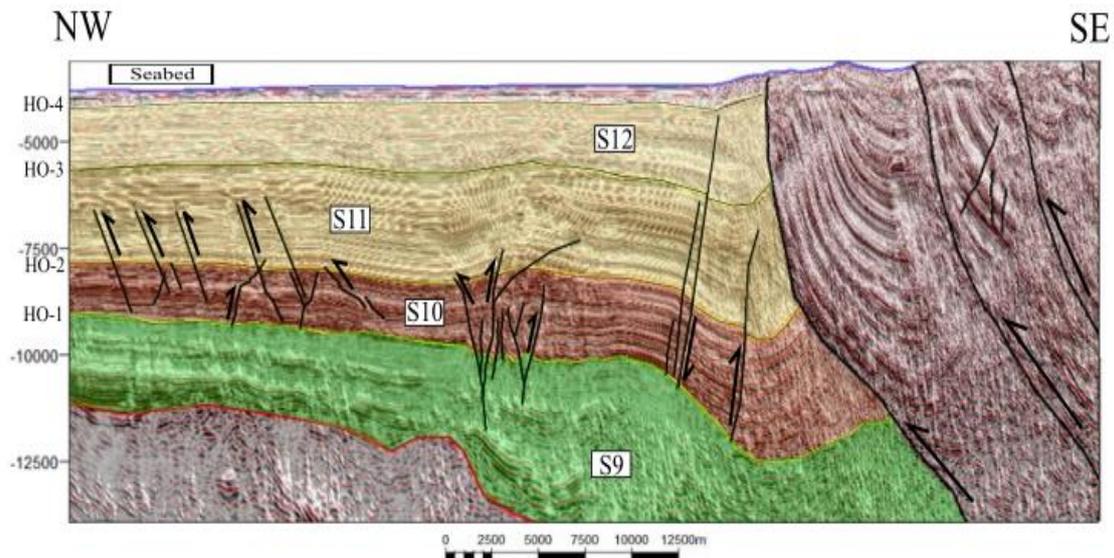
**Secuencia S7:** Se encuentra delimitada por los horizontes HC-7 y HC-8 en la base y el tope, respectivamente (Figura 18). El análisis de facies sísmicas, muestra reflectores paralelos y continuos de baja amplitud hacia la base y alta amplitud hacia el tope y, frecuencia alta. Los reflectores se truncan al SE con el tope de la secuencia S4, generando terminaciones tipo *onlap*, la truncación de los reflectores está asociada a un alto de basamento el cual se puede observar al sur de la línea sísmica SPAN-3600 y podría corresponder al Gran Arco del Caribe.

La continuidad de esta secuencia en el área de estudio es limitada dado que sólo se identificó en la línea SPAN-3600. La unidad se extiende uniformemente con un espesor de hasta 2300m que va disminuyendo en dirección al cinturón deformado del Caribe.

**Secuencia S8:** Esta secuencia es la más reciente de la cuenca Guajira *Offshore*, suprayace la secuencia S7 y, por ende, su base se encuentra definida por el horizonte HC-9 (Figura 14). Se caracteriza por presentar reflectores continuos, paralelos y de alta frecuencia con intercalaciones de capas con altas y bajas amplitudes. La secuencia S8 y la secuencia S7 muestran patrones y propiedades sísmicas similares; sin embargo, los reflectores en la primera presentan amplitudes más altas. Al igual que la secuencia S7, la S8 presenta una extensión limitada en la zona de estudio y, el espesor varía entre 1500m en el depocentro que correspondería a la subcuenca Ranchería y disminuye en proximidades al CDSC.

### ***5.1.3 Secuencias tectonoestratigráficas de la cuenca Colombia***

Las secuencias tectonoestratigráficas de la cuenca Colombia se definieron solo para la línea sísmica 2D SPAN-3200. Estas secuencias son concordantes entre sí y discordantes con las fallas de cabalgamiento del CDSC (Figura 19).

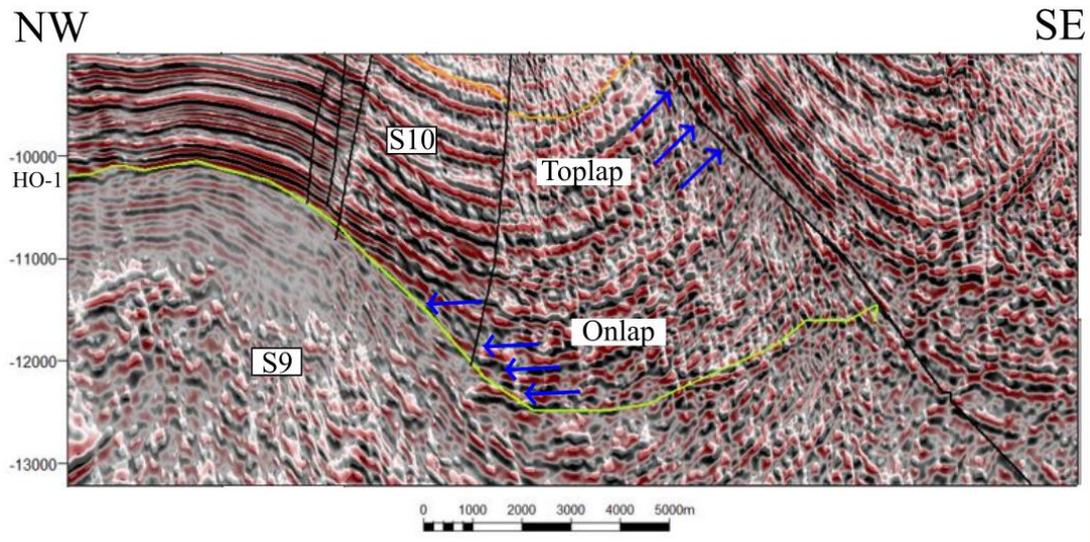


**Figura 19.** Representación de las facies sísmicas de las secuencias 9, 10, 11 y 12 para la cuenca Colombia, ubicadas desde el prisma de acreción hasta la parte más noreste de la línea sísmica SPAN-3200. EV. 2.

*Nota.* Fuente propia.

**Secuencia S9:** En general, esta secuencia se caracteriza por presentar reflectores discontinuos, paralelos y de baja amplitud, intercalados con delgadas capas en las que predominan amplitudes más altas. Además, presenta un patrón interno caótico el cual se acentúa en la región próxima a la zona de subducción (Figura 19). Esta secuencia se encuentra en discordancia con el basamento de la placa Caribe y está delimitada al tope por el horizonte HO-1.

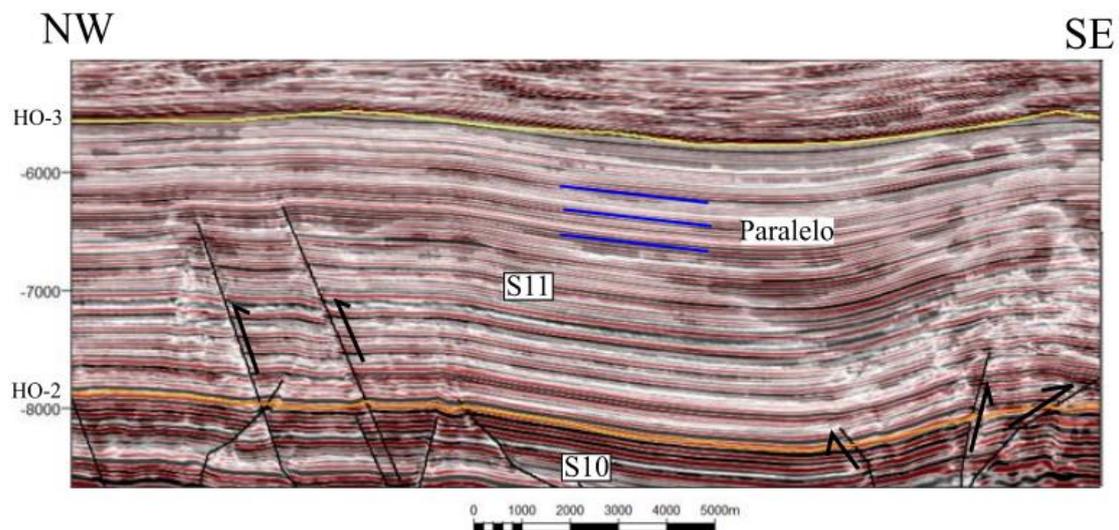
**Secuencia S10:** Está secuencia está delimitada por los horizontes HO-1 y HO-2, hacia la base y tope, respectivamente. Principalmente, se caracteriza por la presencia de reflectores de alta amplitud, los cuales se encuentran cortados por una familia de fallas inversas. La zona cercana al prisma de acreción presenta terminaciones en sus reflectores tipo *toplap*, truncándose con las fallas de cabalgamiento que delimitan el CDSC (Figura 20). También se presentan terminaciones *onlap* de los reflectores de la base de la secuencia truncados contra el horizonte HO-1. Además, los reflectores se pueden catalogar como un estrato de crecimiento, debido a la sedimentación sintectónica.



**Figura 20.** Terminaciones de los reflectores identificados para la secuencia S10; localizados en la línea SPAN-3200. EV. 2.

*Nota.* Fuente propia.

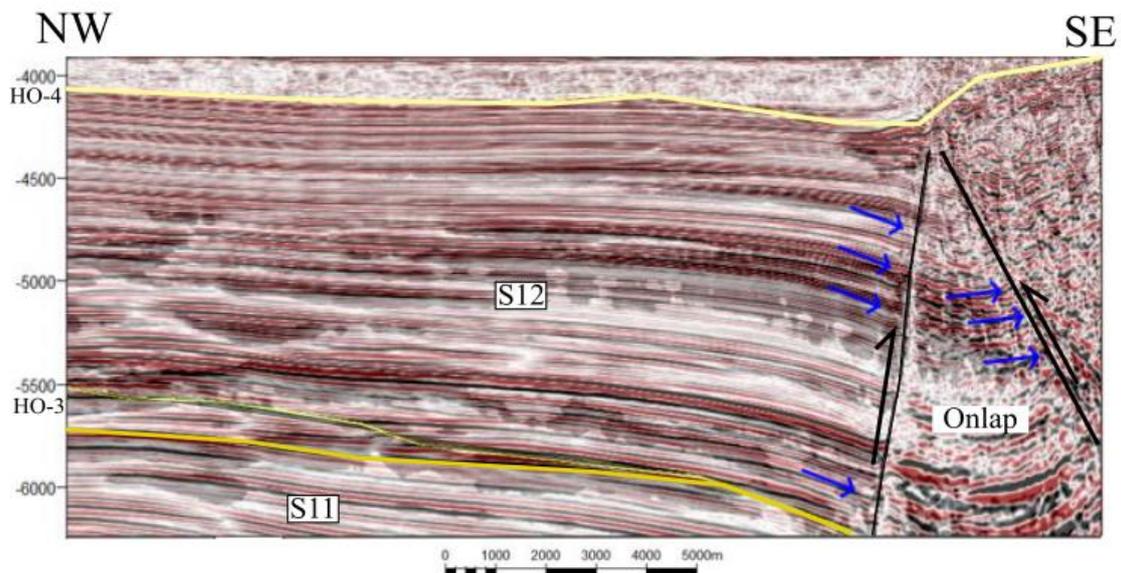
**Secuencia S11:** En general, esta secuencia se caracteriza por presentar reflectores continuos de baja amplitud, moderada a alta frecuencia y con un patrón sísmico tipo paralelo (Figura 21); sin embargo, este cambia en la zona más cercana al CDSC a un patrón más caótico, como resultado de la deformación por los esfuerzos en el prisma de acreción.



**Figura 21.** Patrón sísmico paralelo de los reflectores identificados para la secuencia S11; localizado en la línea SPAN-3600. EV. 2.

*Nota.* Fuente propia.

**Secuencia S12:** Esta secuencia es la más reciente definida para la cuenca Colombia, suprayace la secuencia S11 y está delimitada por los horizontes HO-3 y HO-4. En esta secuencia, el análisis de facies sísmicos se caracteriza por la presencia de reflectores continuos de alta frecuencia y amplitud moderada-alta. Las terminaciones de los reflectores están en discordancia con las fallas inversas que delimitan el CDSC (Figura 22).



**Figura 22.** Truncaciones de los reflectores contra las fallas que delimitan el CDSC, identificados para la secuencia S12 y localizados en la línea SPAN-3200. EV. 4.

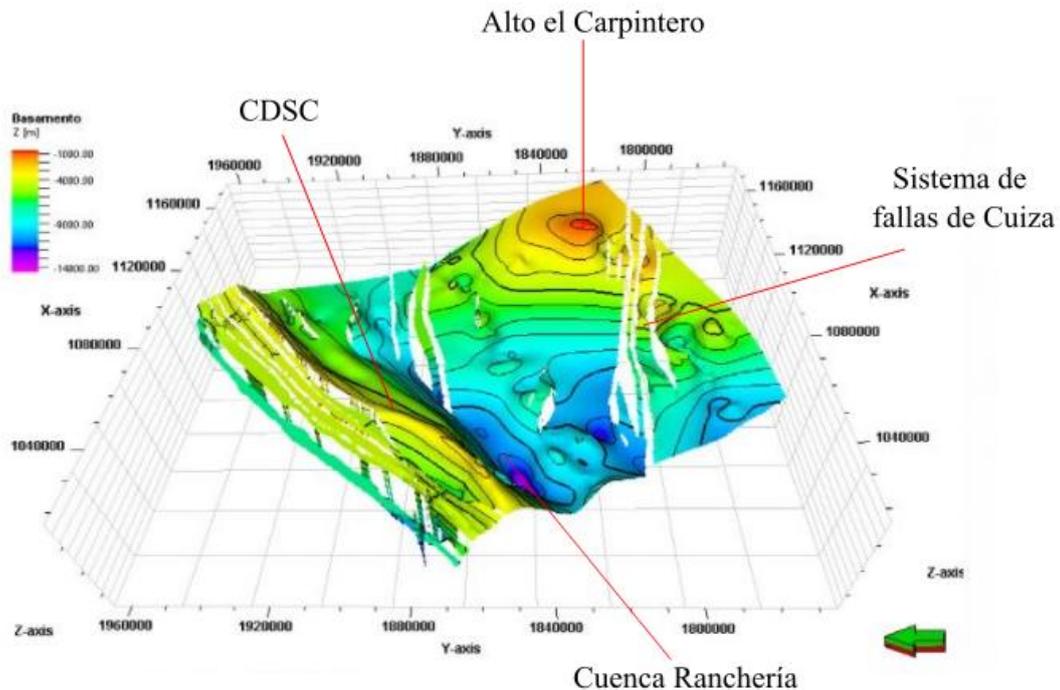
*Nota.* Fuente propia.

## 5.2. Rasgos estructurales de la zona

Los rasgos estructurales de la zona de estudio se interpretaron a partir de la discontinuidad de los reflectores sísmicos y del desplazamiento observado en las secuencias previamente descritas, se identificaron y se marcaron cambios estructurales, tales como fallas y diapirismo. Se reconocieron 5 familias de fallas principalmente, las cuales se concentran en los límites de la cuenca Colombia, el CDSC y en las subcuencas de la Guajira *Offshore*; además, tomando como referencia estudios previos (Vence, 2008, Galindo, 2016, Vence y Mann, 2020, Redondo y Cepeda, 2021) se procedió a darles un orden cronológico: F1, F2, F3, F4, y F5.

El estilo estructural de la zona es predominantemente transcurrente, este se divide en dos zonas: i) en el frente de compresión por fallas de cabalgamiento asociadas a un plano de despegue generado por la subducción, el cual se encuentra afectado por la presencia de diapirismo de lodo que a su vez afecta las secuencias depositadas dentro del

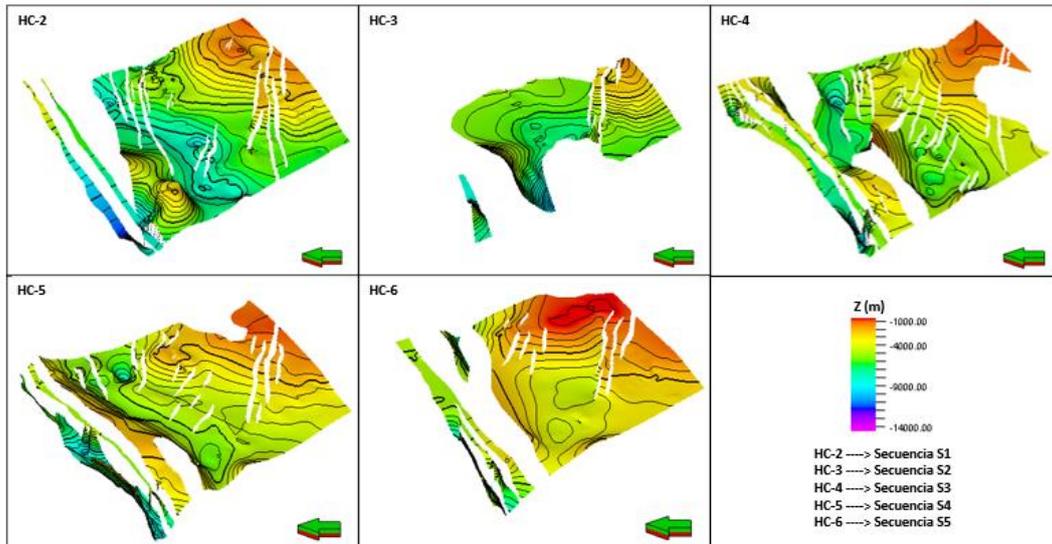
cinturón deformado y; ii) posterior al CDSC, en donde se observan altos de basamento y depocentros que conforman los límites de las subcuencas de la cuenca Guajira *Offshore*, producto de eventos transtensivos y transpresivos, asociadas tanto al movimiento de las fallas de rumbo de Cuiza y Oca, como al movimiento de la placa Caribe a lo largo del margen noroccidental de Colombia (Figura 23).



**Figura 23.** Mapa de contornos de la superficie del basamento para el CDSC y las subcuencas de la Guajira *Offshore*. EV. 3.

*Nota.* Fuente propia.

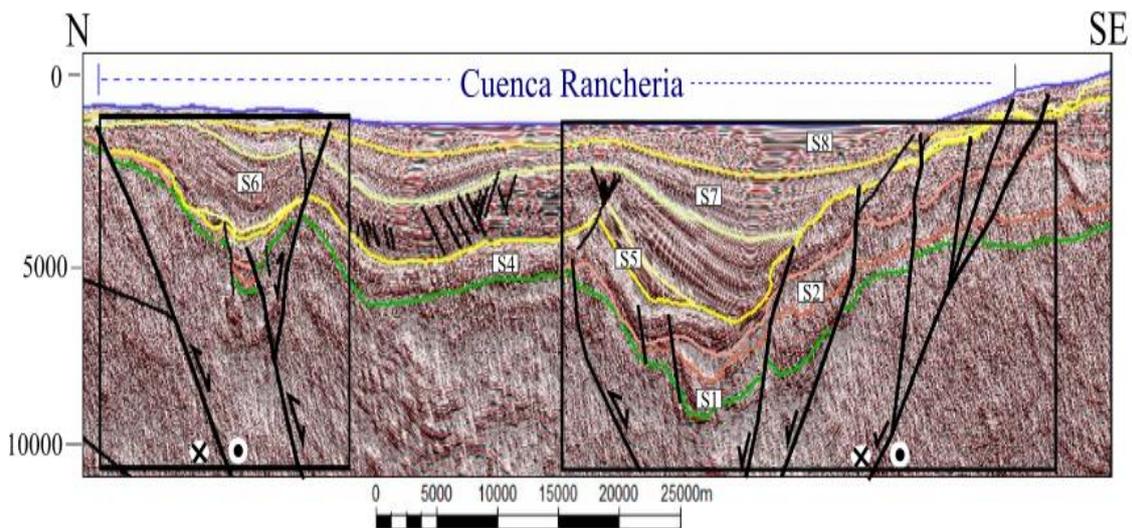
Los altos de basamento, las estructuras de falla y depocentros también se ven reflejados en los horizontes que delimitan las secuencias identificadas en la cuenca Guajira *Offshore* (Figura 24); se observa una distribución homogénea a lo largo de la zona de estudio para las secuencias S1, S3, S4 y S5, mientras que la secuencia S2 sólo se registra hacia la parte SE donde se ubica el Alto de Carpintero.



**Figura 24.** Distribución de los topes de las secuencias sísmicas definidas en este proyecto.

Nota. Fuente propia.

**Familia de fallas F1:** Este grupo de fallas normales con componente de rumbo dextral, se localizan al NE de la zona de estudio en la subcuenca Ranchería. La actividad de estas fallas afectó el basamento y a las secuencias S1 y S2, S4 y S7, formando estructuras en grabens (Figura 25) y presentando un desplazamiento vertical de hasta de 1100m.

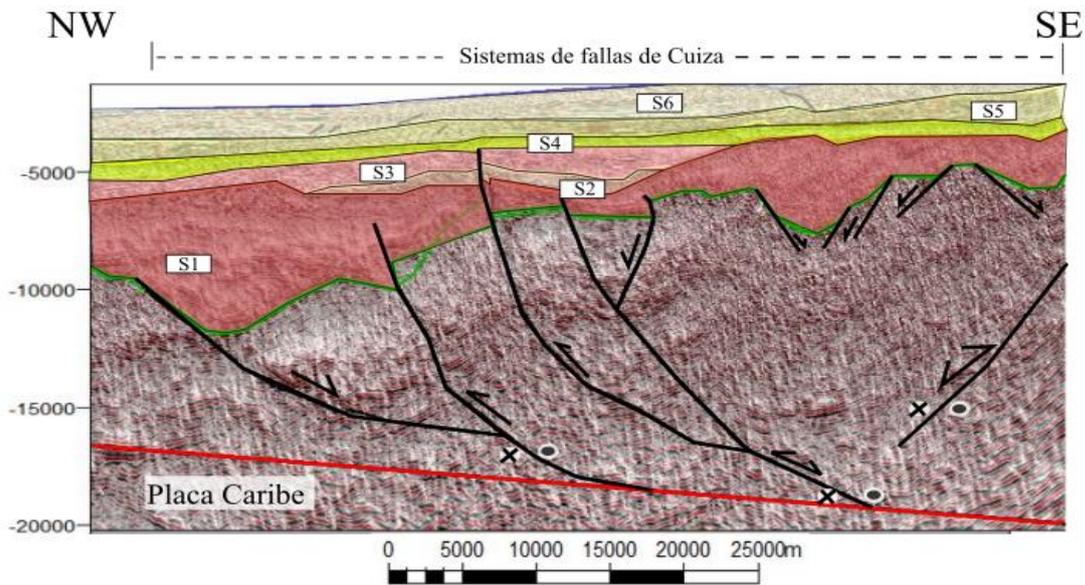


**Figura 25.** Familia de fallas normales con componente de rumbo dextral asociados a la subcuenca de Ranchería. Localizadas en la línea SPAN-3600. EV. 2,5.

Nota. Fuente propia.

**Familia de fallas F2:** Este grupo de fallas está ubicado al SW de la zona de estudio y es representado en el área por el sistema de fallas de rumbo dextrales de Cuiza

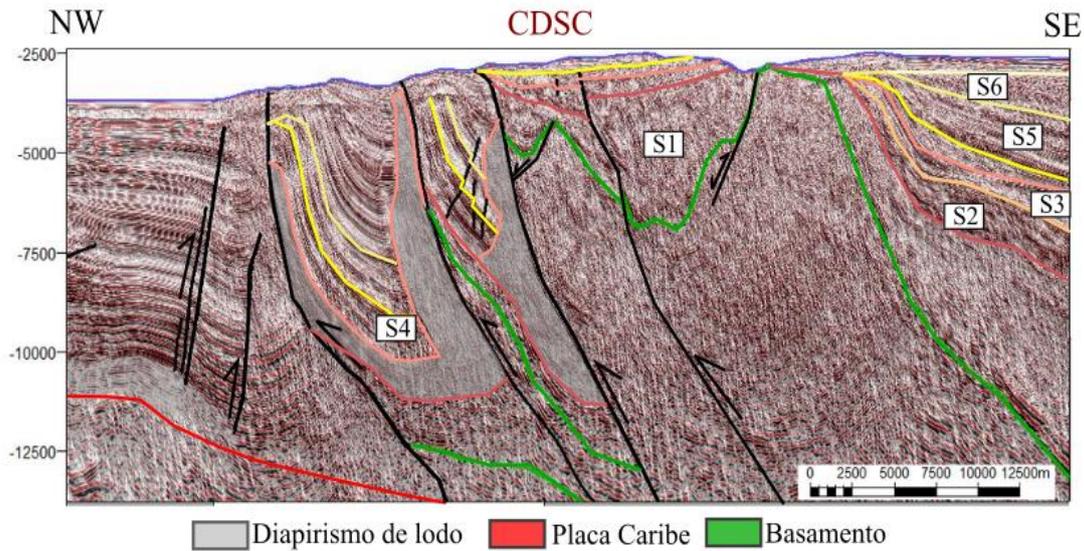
con dirección E-W (Figura 26). La expresión de este sistema, está reflejado en el *offshore* por estructuras en flor positiva y en flor negativa y limitadas al NE por el alto de basamento el Carpintero (Vence, 2008). La mayoría de fallas de esta zona cortan el basamento y la secuencia S1; presentan un desplazamiento vertical de hasta 1000m.



**Figura 26.** Familia de fallas 2 asociadas a el sistema de fallas de Cuiza. Localizadas en línea sísmica Span-3200. EV. 1,7.

*Nota.* Fuente propia.

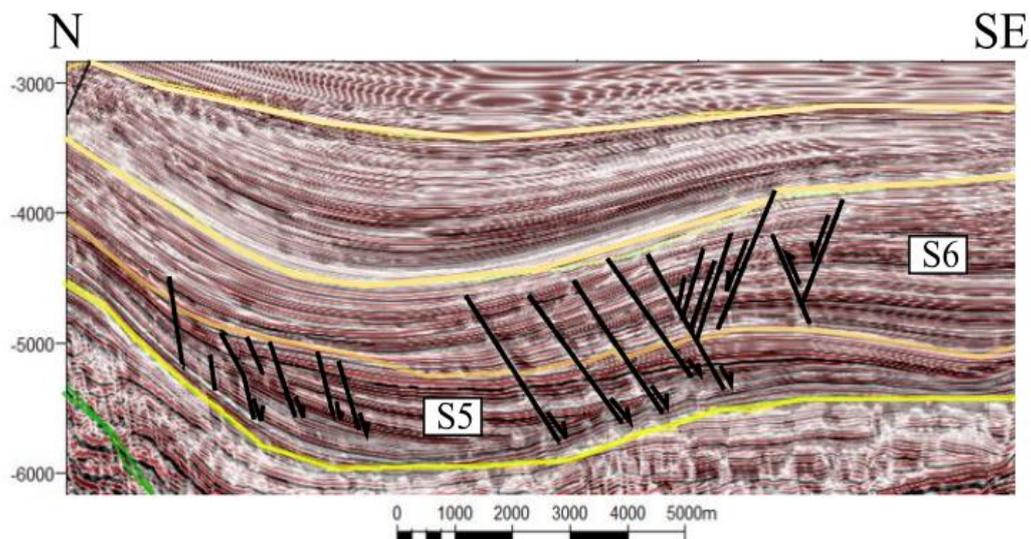
**Familia de fallas F3:** Esta familia de fallas de tipo inversa, se observan en el frente del cabalgamiento (dúplex), concentrándose en el Cinturón Deformado del Sur del Caribe (Vence y Mann, 2020) (Figura 27). Estas fallas afectan el basamento continental y cortan las secuencias S1, S3, S4 y S5; formando pliegues asimétricos con vergencia al NW y se asocian a un plano de despegue producto de la subducción oblicua de la placa Caribe a lo largo del margen noroccidental de Colombia. Además, en la zona se aprecia diapirismo de lodo (Ramírez, 2007; Galindo, 2016; Redondo y Cepeda, 2021), el cual asciende por el fallamiento presentado en la zona.



**Figura 27.** Familia de fallas 3 de tipo inversa que se concentran en el CDSC, de las cuales se aprovecha el diapirismo de lodo para ascender; localizadas en la línea Span-3200. EV. 2.

*Nota.* Fuente propia.

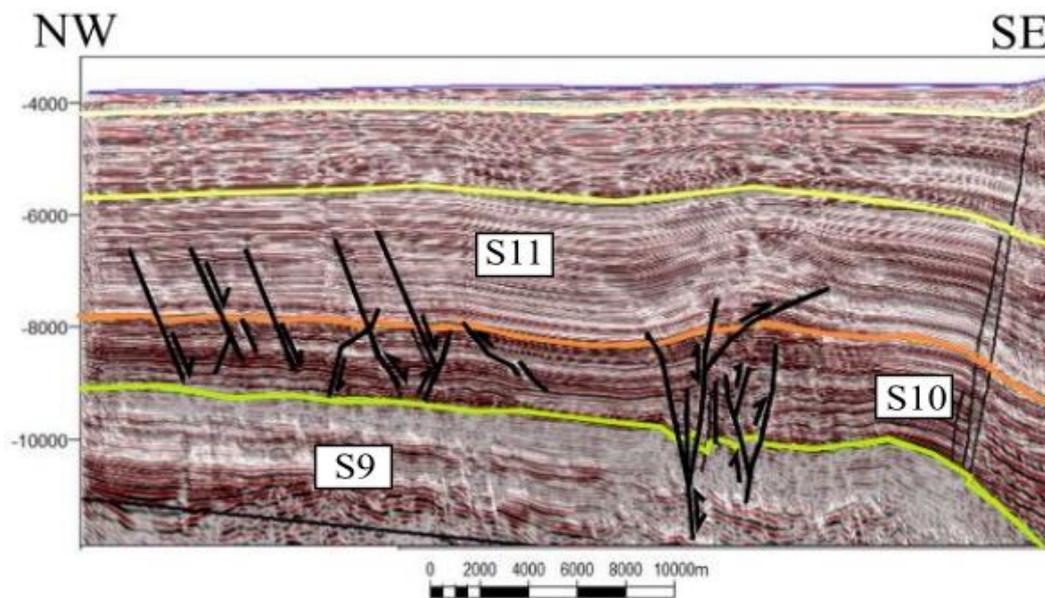
**Familia de fallas F4:** Fallas poligonales normales, localizadas en la línea sísmica SPAN-3600 en las cercanías del CDSC; presentan una orientación predominante Noroeste-Sureste y está restringida a las secuencias S5 y S6 (Figura 28). Estas fallas forman estructuras en *grabens*, presentan un desplazamiento máximo vertical de 100m y un buzamiento aparente de 50° hacia el SE.



**Figura 28.** Familia de fallas poligonales normales que cortan las secuencias S5 y S6; localizadas en la línea Span-3600. EV. 2.

*Nota.* Fuente propia

**Familia de fallas F5:** Está compuesta por un sistema de fallas normales con un posible componente inverso observado en el plegamiento de las secuencias. Se ubican en la cuenca Colombia al noroeste de la zona de estudio y deforman a las secuencias S9, S10 y S11, generando estructuras en *horst* y *graben*. La mayoría de fallas presentan un buzamiento aparente hacia el SE; sin embargo, también se observan fallas antitéticas con buzamiento aparente NE (Figura 29).



**Figura 29.** Familia de fallas normales con posible inversión tectónica a fallas inversas; localizadas en la línea Span-3200. EV. 2.

*Nota.* Fuente propia.

## 6. Discusión

En este módulo se correlacionan las secuencias tectonoestratigráficas definidas anteriormente con las formaciones propuestas por Renz (1960), Rollins (1960) y Barrero et al. (2007). Además, se comparan los resultados obtenidos con los estudios sísmicos realizados por Ramírez (2007), Mantilla et al. (2013), Galindo (2016), Vence y Mann (2020) y, Cepeda y Redondo (2021) para la cuenca Guajira *Offshore*; también se realiza la comparación con los resultados de Basabe (2018) para la cuenca Colombia; por último, se propone un posible origen de los sedimentos que rellenan la zona de estudio. Esto se realiza con el fin de darle una temporalidad a los eventos geológicos registrados en las cuencas Colombia y Guajira *Offshore*.

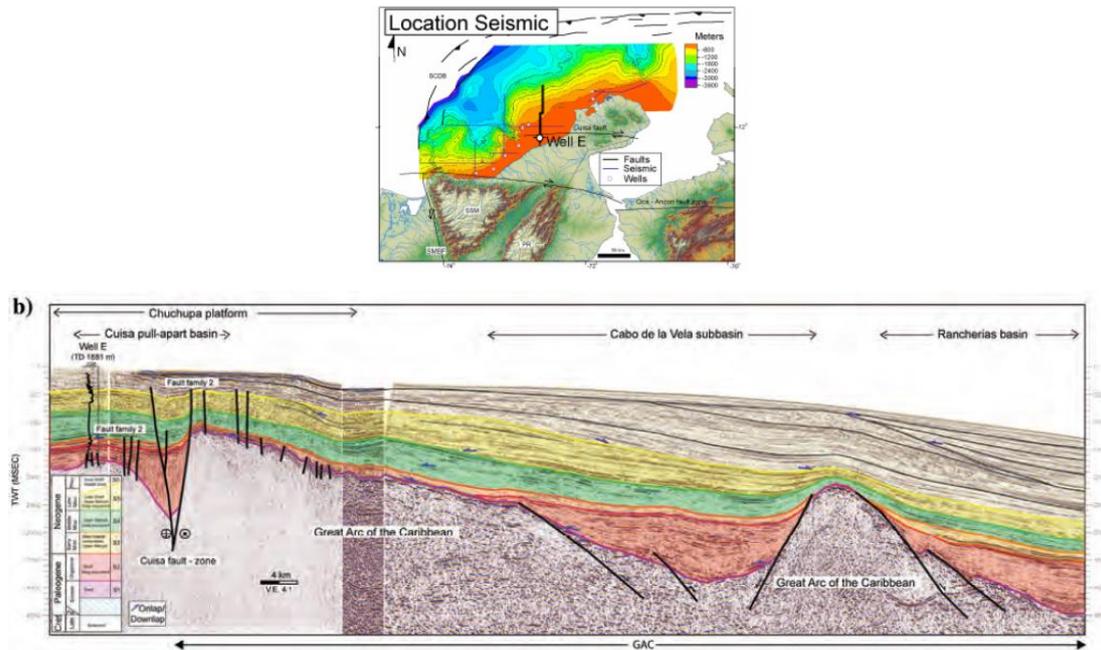
La siguiente correlación presenta una gran incertidumbre, debido a la ausencia de información de pozos que ayude a tener un control sísmica-pozo.

### 6.1 Evolución tectonoestratigráfica de las cuencas Guajira *Offshore* y Colombia

La evolución de las secuencias tectonoestratigráficas de las cuencas Colombia y Guajira *Offshore*, reflejan eventos tectónicos regionales y locales que ocurrieron a lo largo del margen noroccidental de Suramérica. Estos controles estructurales afectan las secuencias descritas anteriormente y se ordenan temporalmente en eventos tectónicos de la siguiente manera:

#### 6.1.1 El basamento acústico

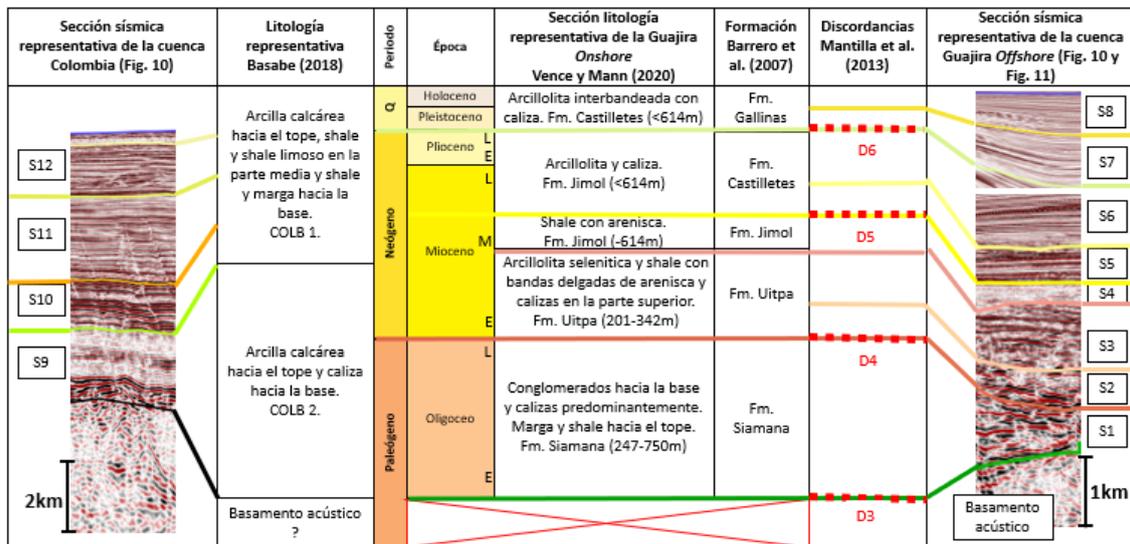
El basamento de la Guajira *Offshore*, ha sido debatido por diversos autores acerca de su composición y distribución. Vence y Mann (2020), definen una edad pre-Eocena, compuesta de rocas ígneas y metamórficas. Además, proponen la presencia del GAC dentro del basamento (Figura 30), y presentan la colisión de este a lo largo del margen pasivo de Suramérica.



**Figura 30.** Localización e interpretación de la línea sísmica realizada por Vence y Mann (2020) en la cuenca Guajira Offshore, en donde se representa el GAC como parte del basamento.

### 6.1.2 Eoceno (?) - Oligoceno

Durante estos periodos, la Guajira Offshore se vio afectada por un evento tectónico de extensión, representado por fallas de tipo normal (Familia de fallas 1) que afectan el basamento cristalino. La separación dio lugar a la formación de *grabens* y *horsts*, así como a la creación del espacio de acomodación para la cuenca Ranchería, la cual estaría caracterizada en su base por la acumulación sin-tectónica de sedimentos, al igual que se evidencia por los estratos de crecimiento de la secuencia S1 (Figura 15). Vence y Mann (2020) proponen que la secuencia más antigua depositada en la zona es de edad Eocena, ubicada en la depresión Chimare al NE de la zona de estudio; sin embargo, en el análisis sísmico realizado, no es posible identificar esta unidad, debido a que la zona de estudio no se extiende a la cuenca Chimare. La secuencia S1 interpretada en este trabajo se correlaciona con la formación Siamana de edad Oligocena (Figura 31) (Renz, 1960; Rollins, 1960; Barrero et al., 2007); presenta patrones sísmicos de amplitud y frecuencia variable, además, se puede observar un contacto discordante con el basamento cristalino (D3-Figura 31), similar al definido por Vence y Mann (2020). La secuencia S1 podría ser subdivida hacia el NE en 2 tectonosecuencias, identificando así, la probable secuencia de edad Eocena (Cepeda y Redondo, 2021).

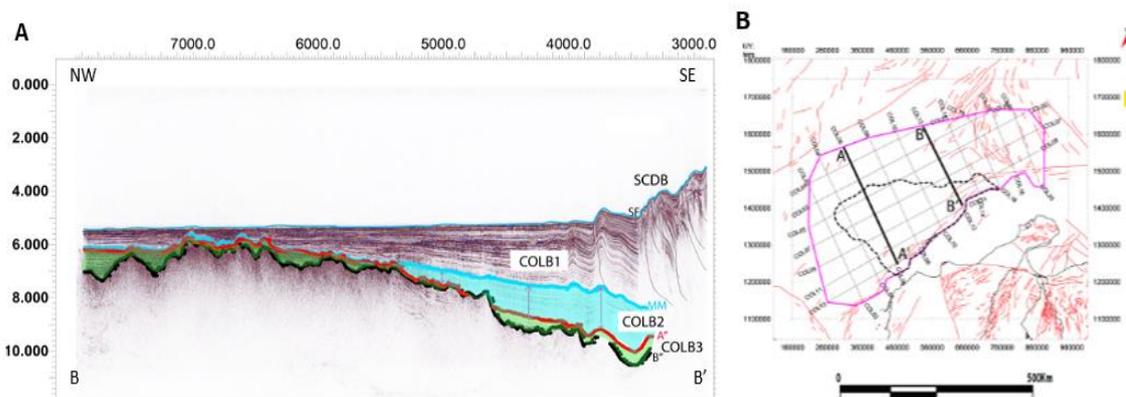


**Figura 31.** Correlación de las secuencias definidas en este trabajo con las propuestas por otros autores.

*Nota.* Fuente propia.

### 6.1.3 Oligoceno-Mioceno temprano

Durante el Oligoceno la zona se vio afectada por eventos transcurrentes, producto de la convergencia oblicua entre la placa Caribe y la placa Suramericana, favoreciendo que el sistema de fallas de rumbo dextrales de Cuiza (Familia de fallas 2) generara afectaciones en la estructura del basamento cristalino en la cuenca Guajira *Offshore* (Figura 26) y formara estructuras tanto en flor positiva como en flor negativa. Esta familia está conformada principalmente por fallas de rumbo dextrales, que marcan la compresión y el inicio de la formación del CDSC (Pindell y Kennan, 2009) y, de la Familia de fallas 3 vinculada al mismo (Figura 27). La compresión también habría afectado las primeras secuencias depositadas en la cuenca Colombia, las cuales son catalogadas por Basabe (2018) como la mega-secuencia COLB3 (Figura 32); conformada por calizas, cherts y sedimentos pelágicos interbandeados con areniscas volcánicas y, caracterizada por facies sísmicas continuas de alta amplitud. No obstante, debido a la no diferenciación con el basamento de la placa Caribe, ésta mega-secuencia no fue identificada en el presente trabajo.



**Figura 32.** A) Perfil sísmico de la cuenca Colombia con la interpretación de las mega-secuencias COLB1, COLB2 y COLB3. B) Localización del perfil sísmico B-B'.

*Nota.* Tomado de Basabe (2018).

En el Oligoceno tardío-Mioceno temprano la zona es afectada por cambios eustáticos, generando un periodo de no depositación. Mantilla et al. (2013) denomina este periodo como una discordancia a escala regional (D4-Figura 31). Posteriormente, a finales del Mioceno temprano se depositan, como producto de transgresiones marinas, las secuencias sin-tectónicas S2, S3 y S4, y simultáneamente se genera el levantamiento del CDSC. Lo anterior se evidencia por los estratos de crecimiento que pueden ser identificados en la Figura 14.

Realizando la correlación con otros autores, se tiene que las secuencias S2 y S3 podrían corresponder a las Formación Uitpa y, al inicio de la acumulación de la secuencia S4 para el Mioceno Medio, que correspondería a la Formación Jimol (Figura 31) (Rollins, 1960; Barrero et al., 2007). Además, se identificaron en el CDSC estructuras en forma de diapiros (Figura 27), cuya fuente estaría representada por la secuencia S3, asociada al proceso de deformación definido por Galindo (2016) como *shales tectonics*. Sincrónicamente y hasta el Mioceno medio, en la cuenca Colombia también se estaban depositando los sedimentos definidos por Basabe (2018) como COLB2 (Figura 32), estos podrían correlacionarse, puesto que comparten una configuración sísmica similar, con la secuencia S7 propuesta por Cepeda y Redondo (2021) y la secuencia S9 del presente análisis.

#### **6.1.4 Mioceno medio-tardío**

Durante el periodo del Mioceno medio, las condiciones transtensionales habían disminuido y se presentaban condiciones marinas someras (Vence y Mann, 2020). Mantilla et al. (2013), a partir de registros de pozo e información sísmica, identifica una Máxima Superficie de Transgresión (MST), representada por el tope de la secuencia S4

(horizonte HC-5). Esta discordancia es observada en las líneas sísmicas, por las terminaciones en onlap de los reflectores de las secuencias S5, S6 y S7, contra la secuencia S4 (Figura 18).

Durante el Mioceno tardío, las condiciones de depositación cambiaron, presentando un aporte más continental y un descenso en el nivel de mar (Vence y Mann, 2020). Basabe (2018) propone una edad Mioceno tardío para estos sedimentos, como parte la progradación del Magdalena hacia el offshore y, los mismos corresponderían a los sedimentos de la parte distal del delta. Esto se ve reflejado en la cuenca Guajira Offshore por la depositación de la secuencia S5, la cual se caracteriza por facies sísmicas de alta frecuencia y amplitud variable, similar a la propuesta por Vence y Mann (2020), mientras que en la cuenca Colombia se ve representado por la secuencia 10, la cual, mediante la comparación de características de los reflectores, se podría correlacionar con la propuesta por Basabe (2018) como COLB1 (Figura 32), que representaría el inicio de la depositación de un material compuesto por un aporte de carácter más clástico (Figura 31).

#### **6.1.5 Mioceno tardío-Plioceno temprano**

A finales del Mioceno tardío, la convergencia oblicua de la placa Caribe, dio lugar al choque del bloque Panamá contra el oeste de Suramérica (Bernal-Olaya et al., 2015). Este evento es asociado en la Guajira *Offshore* por una discordancia (D6-Figura 31) (Mantilla et al., 2013), que corresponde al hiato entre el Mioceno tardío y el Plioceno temprano y, es observado por las terminaciones de los reflectores en onlap de la secuencia S6 contra la secuencia S5.

Además, algunos autores proponen que la convergencia en este periodo, representa el ultimo levantamiento del CDSC (P. Galindo, 2016) (Escalona y Mann, 2011; Galindo, 2016), lo cual posiblemente podría ser correlacionado debido a que las secuencias S5 y S6 se encuentran cortada por la familia de fallas 3, producto de la deformación. Según Vence y Mann (2020), la deformación generó que las fallas normales (Familia de fallas 1) sufrieran tanto una inversión tectónica como reactivación, afectando las secuencias anteriores a estas, esto se ve reflejado por los pliegues formados (Figura 25).

Posterior a este periodo, posiblemente también se depositó la secuencia S11, que es correlacionada con la propuesta por Basabe (2018) de edad Pliocena, definida como la mega-secuencia COLB1, esto debido a que presentan frecuencias y amplitudes variables de los reflectores. A su vez, en frente del prisma de acreción se forman fallas normales

(Familia de fallas 5), posiblemente formadas por la deformación flexural de la placa Caribe, debido a la carga del prisma de acreción.

#### **6.1.6 Pleistoceno-Holoceno**

En la literatura se encuentra poca información con respecto a los eventos tectónicos ocurridos durante el Pleistoceno en el área; en general se caracterizó por un rápido levantamiento sincrónico de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y de la Serranía del Perijá (SP) (Gómez, 2001), y además, se presentó una fuerte progradación de sedimentos clásticos hacia el norte y este de la cuenca Guajira *Offshore*, lo cual favoreció a una mayor afluencia de sedimentos en la zona de estudio. Por otra parte, Vence y Mann (2020) identifican cañones submarinos en su análisis sísmico y los asocian al río Magdalena, describen que hubo un desplazamiento de los cañones controlado probablemente por la deformación convergente que estaba en curso en el CDSC. Los sedimentos clásticos procedentes del Magdalena en la cuenca Guajira *Offshore* corresponderían a la Formación Gallinas (Rollins, 1960; Barrero et al., 2007) y así mismo, podrían correlacionarse con las secuencias S7 y S8 (Figura 31) puesto que están conformadas por facies sísmicas continuas y paralelas, características de este tipo de litologías. Sin embargo, por otro lado Vence y Mann (2020) proponen que estos sedimentos pertenecen a la Formación Castilletes. La compresión generada por el levantamiento de la SNSM y la SP, y la convergencia entre las placas Caribe y Suramericana durante este periodo de tiempo podría evidenciarse en los pliegues y fallas que afectan las secuencias S7 y S8.

La cuenca Colombia también se ve afectada por los eventos de convergencia y sedimentación, aunque esto no es claro en el análisis sísmico debido probablemente a la poca extensión que se abarca de la cuenca. La mega-secuencia COLB1 propuesta por Basabe (2018) se registra desde el Mioceno medio hasta el Holoceno y es definida hacia el tope como areniscas calcáreas y sedimentos clásticos, los cuales podrían ser correlacionados con la secuencia S12 por sus facies sísmicas continuas, de altas frecuencias y amplitudes moderadas-altas. Además, la secuencia S12 también podría ser correlacionada con las secuencias más superficiales de la cuenca Guajira *Offshore* (S7 y S8) debido a la composición litológica que comparten según los diferentes autores y también, a que presentan patrones sísmicos similares, sin embargo, se podrían diferenciar puesto que las secuencias de la cuenca Colombia tendrían un aporte de carácter marino mientras que las secuencias de la cuenca Guajira *Offshore* tendrían un aporte de sedimentos más continental.

## Conclusiones

Las características sísmicas de los reflectores y los controles estructurales que afectan a la zona de estudio reflejan eventos tectónicos con movimientos predominantemente transcurrentes, que han ocurrido a lo largo de la margen noroccidental de Suramérica y por consiguiente, dominan el modo de acumulación de los sedimentos que rellenan a las cuencas Guajira *Offshore* y Colombia.

La interpretación mostrada en este proyecto, sumado a estudios anteriores que muestran la subducción oblicua y los efectos de los cambios direccionales de la placa Caribe con respecto a Suramérica (Vence, 2008; Pinndell y kennan, 2009; Galindo, 2016; Vence y Mann, 2020), indicarían que la margen noroccidental era un margen pasivo que posteriormente fue deformado por el movimiento continuo de la placa Caribe, conllevando al choque del GAC contra Suramérica y a la posterior formación del CDSC y de las fallas de rumbo como el sistema de fallas de Cuiza (Vence y Mann, 2020).

En este trabajo se propone una última edad de deformación Pliocena para el prisma de acreción; sin embargo, esta interpretación está limitada por los procesos de deformación local y regional; a su vez, las fuentes de sedimentación propuestas, pueden diferir debido a los cambios locales que se presentan.

La incertidumbre de las correlaciones presentadas en este trabajo puede reducirse mediante la integración de este modelo con información de pozos que permita tener un mayor control sísmica-pozo.

La interpretación del basamento está limitada por los cambios de litología locales, un ejemplo de estos es la presencia de calizas en la base de la secuencia S1, generando dificultades en la diferenciación del basamento de las secuencias depositadas.

## Referencias

- Aarre, V., y Astratti, D. (2012). Detección sísmica de fallas y fracturas sutiles. *Oilfield Review Schlumberger*, 24, 30–45.
- Al-Masgari, A. A. S., Elsaadany, M., Latiff, A. H. A., Hermana, M., Hamzah, U. B., Babikir, I., Adeleke, T., Imran, Q. S., y Al-Bared, M. A. M. (2021). Seismic sequence stratigraphic sub-division using well logs and seismic data of Taranaki Basin, New Zealand. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app11031226>
- Aristizábal, C., Ferrari, A., y Silva, C. (2009). Control neotectónico del diapirismo de lodo en la región de Cartagena, Colombia. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 8(1), 42–50.
- Audemard M., F. A. (1996). Paleoseismicity studies on the Oca-Ancón fault system, northwestern Venezuela. *Tectonophysics*, 259(1-3 SPEC. ISS.), 67–80. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00144-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00144-1)
- Barat, F., Mercier de Lépinay, B., Sosson, M., Müller, C., Baumgartner, P. O., y Baumgartner-Mora, C. (2014). Transition from the Farallon Plate subduction to the collision between South and Central America: Geological evolution of the panama isthmus. *Tectonophysics*, 622, 145–167. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.03.008>
- Barrero, D., Pardo, A., Vargas, C. A., y Martínez, J. F. (2007). *Colombia Sedimentary basins: Nomenclature, boundaries and petroleum geology, a new proposal* (ANH).
- Basabe Triana, Y. D. (2018). *In the Graduate College ; V. ARIZONA*.
- Bernal-Olaya, R., Sanchez, J., Mann, P., y Murphy, M. (2015). *Along-strike crustal thickness variations of the subducting Caribbean plate produces two distinctive styles of thrusting in the offshore South Caribbean deformed belt, Colombia*.
- Burke, K. (1988). Tectonic Evolution of the Caribbean. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 16(1), 201–230. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.16.050188.001221>
- Caro Duque, H. (1984). Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú-San Jacinto en el noroccidente de Colombia. *Boletín de Geología*, 27(2), 2–29.
- Carvajal-Arenas, L. C., Torrado, L., Mann, P., y English, J. (2020). Basin modeling of Late Cretaceous / Mio-Pliocene (.) petroleum system of the deep-water eastern Colombian Basin and South Caribbean Deformed Belt. *Marine and Petroleum Geology*, 121(May), 104511. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104511>
- Cediel, M., Almanza, O., y Montes, L. (2012). Análisis avo en el yacimiento de alta impedancia

- del campo chuchupa. *Boletín de Geología*, 34(2), 139–148.
- Cepeda, J., y Redondo, L. (2021). *Aálisis estructural y tectonoestratigráfico de la línea sísmica SPAN-3800 entre las cuencas Colombia y Guajira Offshore en la región del Caribe colombiano*. EAFIT.
- Cortés, M., y Angelier, J. (2005). Current states of stress in the northern Andes as indicated by focal mechanisms of earthquakes. *Tectonophysics*, 403(1–4), 29–58.  
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.03.020>
- Escalona, A., y Mann, P. (2011). Tectonics, basin subsidence mechanisms, and paleogeography of the Caribbean-South American plate boundary zone. *Marine and Petroleum Geology*, 28(1), 8–39. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.01.016>
- Flinch, J., Amaral, J., Doucet, A., Mouly, B., Osorio, C., y Pince, J. (2003). Structure of the Offshore Sinu Accretionary Wedge. Northern Colombia. *8th Simposio Bolivariano-Exploracion Petrolera En Las Cuencas Subandinas*, cp-33.
- Frisch, W., Meschede, M., y Sick, M. (1992). Origin of the Central American ophiolites: evidence from paleomagnetic results. *Geological Society of America Bulletin*, 104(10), 1301–1314. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1992\)104<1301:OOTCAO>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1992)104<1301:OOTCAO>2.3.CO;2)
- Galindo, P. (2016). *Transtension and transpression in an oblique subduction setting: Evolution of the Bahia Basin, Colombian Caribbean margin*. 270.  
<https://doi.org/https://spiral.imperial.ac.uk:8443/handle/10044/1/31408>
- Galindo, P. A., y Lonergan, L. (2020). Basin Evolution and Shale Tectonics on an Obliquely Convergent Margin: The Bahia Basin, Offshore Colombian Caribbean. *Tectonics*, 39(3). <https://doi.org/10.1029/2019TC005787>
- García González, M., Cruz Guevara, L. E., Mier Umaña, R., Vásquez Pinto, M., Jiménez Jácome, M., y Moreno Castellanos, M. (2008). Evolución térmica de la subcuenca de la Baja Guajira. *Report*, 144pp. [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/Evolucion\\_Termica\\_de\\_la\\_Baja\\_Guajira.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/Evolucion_Termica_de_la_Baja_Guajira.pdf)
- James, K. H. (2005). A simple synthesis of Caribbean geology. *Caribbean Journal of Earth Science*, 39(January 2005), 69–82.
- James, K. H. (2009). In situ origin of the Caribbean: Discussion of data. *Geological Society Special Publication*, 328(July), 77–125. <https://doi.org/10.1144/SP328.3>
- Ladd, J W, y Truchan, M. (1983). Compressional features across the Caribbean Margin of Colombia. In *Seismic Expression of Structural Styles, Vol. 3: Tectonics of*

*Compressional Provinces/Strike Slip Tectonics* (Vol. 15, pp. 163–166).

- Ladd, John W, Stoffa, P. L., Westbrook, G., y Dh, D. (1984). *margin of the Caribbean*.
- Lockwood, J. P. (1965). *Geology of the Serrania de Jarara área, Guajira Península, Colombia*. Princeton University.
- Londoño, J., Schiek, C., y Biegert, E. (2015). Basement architecture of the Southern Caribbean Basin, Guajira Offshore, Colombia. *AAPG Memoir*, 108, 85–102.  
<https://doi.org/10.1306/13531932M1083639>
- López, E. (2005). Evolución tectónica de la región Caribe de Colombia. *Informe Interno INGEOMINAS*, 78.
- Lugo, J., y Mann, P. (1995). Jurassic-Eocene tectonic evolution of Maracaibo basin, Venezuela. *The American Association of Petroleum Geologists*, 62, 669–725.
- M. Bulhões, É., y Nogueira de Amorim, W. (2005). *Princípio da SismoCamada Elementar e sua aplicação à Técnica Volume de Amplitudes (tecVA)*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.160.sbgf276>
- Mann, P. (1999). Chapter 1 Caribbean sedimentary basins: classification and tectonic setting from jurassic to present. *Sedimentary Basins of the World*, 4(C), 3–31.  
[https://doi.org/10.1016/S1874-5997\(99\)80035-5](https://doi.org/10.1016/S1874-5997(99)80035-5)
- Martinez R, J. I., y Hernandez, R. (1992). Evolution and drowning of the late cretaceous Venezuelan carbonate platform. *Journal of South American Earth Sciences*, 5(2), 197–210. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90038-Z](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90038-Z)
- Meschede, M., y Frisch, W. (1998). A plate-tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate. *Tectonophysics*, 296(3–4), 269–291.  
[https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00157-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00157-7)
- Mitchum Jr, R. M., Vail, P. R., y Sangree, J. B. (1977). *Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 6. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences: Section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation* (C. E. Payton (ed.)). AAPG Special Volumes.
- Mojica Gonzales, J. (2019). *Definición del sistema deposicional en una subcuena del caribe costa afuera de Colombia, a partir de interpretación sísmica 3D*. Universidad Industrial de Santander.
- Müller, R. D., Royer, J. Y., Cande, S. C., Roest, W. R., y Maschenkov, S. (1999). Chapter 2 New constraints on the late cretaceous/tertiary plate tectonic evolution of the caribbean.

*Sedimentary Basins of the World*, 4(C), 33–59. [https://doi.org/10.1016/S1874-5997\(99\)80036-7](https://doi.org/10.1016/S1874-5997(99)80036-7)

- Muller, R. D., Royer, J. Y., y Lawver, L. A. (1993). Revised plate motions relative to the hotspots from combined Atlantic and Indian Ocean hotspot tracks. *Geology*, 21(3), 275–278. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1993\)021<0275:RPMRTT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1993)021<0275:RPMRTT>2.3.CO;2)
- Naranjo-Vesga, J., Ortiz-Karpf, A., Wood, L., Jobe, Z., Paniagua-Arroyave, J. F., Shumaker, L., Mateus-Tarazona, D., y Galindo, P. (2020). Regional controls in the distribution and morphometry of deep-water gravitational deposits along a convergent tectonic margin. Southern caribbean of Colombia. *Marine and Petroleum Geology*, 121(July), 104639. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104639>
- Pérez, O. J., Bilham, R., Bendick, R., Velandia, J. R., Hernández, N., Moncayo, C., Hoyer, M., y Kozuch, M. (2001). Velocity field across the Southern Caribbean plate boundary and estimates of Caribbean/South-American plate motion using GPS geodesy 1994–2000. *Geophysical Research Letters*, 28(15), 2987–2990. <https://doi.org/10.1029/2001GL013183>
- Pindell, J., Kennan, L., Stanek, K. P., Maresch, W. V., y Draper, G. (2006). Foundations of Gulf of Mexico and Caribbean evolution: Eight controversies resolved. *Geologica Acta*, 4(1–2), 303–341. <https://doi.org/10.1344/105.000000371>
- Pindell, J. L., y Barret, S. F. (1990). Geologic evolution of the Caribbean region; A plate-tectonic perspective. In G. Dengo y J. E. Case (Eds.), *The Caribbean Region* (pp. 405–432). Geological Society of America.
- Pindell, J. L., y Kennan, L. (2009). Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: An update. *Geological Society Special Publication*, 328, 1–55. <https://doi.org/10.1144/SP328.1>
- Pulido, O., Castro, E., López, G., y Cristancho, J. (1991). Compilación y análisis de la información de la Subcuenca de la Baja Guajira. *Informe Interno ECOPETROL*.
- Ramirez, V. (2007). Stratigraphic framework and petroleum systems modeling, Guajira Basin northern Colombia. *Geological Sciences*.
- Ramsayer, G. R., y Production, E. (1979). *OTC 3568 SEISMIC STRATIGRAPHY, AFUNDAMENTAL EXPLORATION TOOL*.
- Renz, O. (1960). Geología de la parte sureste de la Península de La Guajira (República de Colombia). *III Congreso Geológico Venezolano*, 317–343.

- Rollins, J. F. (1960). *Stratigraphy and structure of the Guajira Península, northwestern Venezuela and northeastern Colombia*. University of Nebraska.
- Rubio, R., Ramírez, V., Rubiano, J., Garnica, M., Moreno, N., Plata, J., Mantilla, M., Gatsby, E., López, O., y Martínez, I. (1998). Evaluación regional, Cuenca de la Baja Guajira. Informe final. Vicepresidencia adjunta de exploración gerencia de estudios regionales. *Informe Interno ECOPETROL*.
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., y Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: From Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290-75 Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95–139. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.06.004>
- Symithe, S., Calais, E., De Chabaliér, J. B., Robertson, R., y Higgins, M. (2015). Current block motions and strain accumulation on active faults in the Caribbean. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(5), 3748–3774. <https://doi.org/10.1002/2014JB011779>
- Taboada, A., Rivera, L., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., y Rivera, C. (2000). Geodynamics of the northern Andes. *Tectonics*, 19(5), 787–813.
- Taner, M. T., y Images, R. S. (2001). Article Seismic Attributes. *CSEG Recorder*, 49–56.
- Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., y Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2), 157–171. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00018-4)
- Van Der Hilst, R., y Mann, P. (1994). Tectonic implications of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. *Geology*, 22(5), 451–454. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022<0451:TIO>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022<0451:TIO>2.3.CO;2)
- Veloza, G., Styron, R., y Taylor, M. (2012). Open-source archive of active faults for northwest South America. *GSA Today*, 22(10), 4–10. <https://doi.org/10.1130/GSAT-G156A.1>
- Vence, E. M. (2008). *Subsurface structure, stratigraphy, and regional tectonic controls of the Guajira margin of northern Colombia*. University of Texas, Austin.
- Vence, E., y Mann, P. (2020). Subsurface basement, structure, stratigraphy, and timing of regional tectonic events affecting the Guajira Margin of Northern Colombia. *Interpretation*, 8(4), 69–105. <https://doi.org/10.1190/int-2020-0016.1>
- Vernette, G., Mauffret, A., Bobier, C., Briceno, L., y Gayet, J. (1992). Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. *Tectonophysics*,

202(2–4), 335–349. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90118-P](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90118-P)

Weber, J. C., Dixon, T. H., DeMets, C., Ambeh, W. B., Jansma, P., Mattioli, G., Saleh, J., Sella, G., Bilham, R., y Pérez, O. (2001). GPS estimate of relative motion between the Caribbean and South American plates, and geologic implications for Trinidad and Venezuela. *Geology*, 29(1), 75–78. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<0075:GEORMB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0075:GEORMB>2.0.CO;2)