

SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO



*Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar
yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de
información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-
San Jacinto*

DOCUMENTO DE TRABAJO SGC

Bogotá, enero 2016





Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

Por:

Wilson Quintero Camacho

Ingeniero Catastral y Geodesta, MSc.

Bogotá, enero de 2016

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	8
1. ORIGEN Y EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DE LA PLACA CARIBE	10
1.1 MODELO DE ORIGEN PACÍFICO (CARIBE ALÓCTONO).....	12
1.2 MODELO DE ORIGEN IN SITU (CARIBE AUTÓCTONO)	16
2. COMPILACION GEOLOGICA Y GEOFISICA	19
2.1 LOCALIZACIÓN CUENCA SINÚ-SAN-JACINTO.....	19
2.2 PROVINCIAS TECTÓNICAS	22
2.2.1 Cinturón Fallado San Jacinto	22
2.2.2 Cinturón Plegado del Sinú.....	22
2.3 ESTRATIGRAFÍA	22
2.3.1 Cretácico Tardío	22
2.3.2 Paleoceno Medio a Tardío y Eoceno Temprano	24
2.3.3 Eoceno Medio	24
2.3.4 Eoceno Tardío – Oligoceno – Mioceno Temprano.....	24
2.3.5 Mioceno Medio	26
2.3.6 Mioceno Tardío a Plioceno.....	27
2.4 INCONFORMIDADES	28
2.5 MODELOS DE EVOLUCIÓN TECTÓNICA SINÚ-SAN JACINTO	29
2.5.1 Modelo Paleo-rift.	29
2.5.2 Modelo de Prisma Acrecionario.....	30
2.6 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA.	33
2.7 GEOFÍSICA: GRAVIMETRÍA Y MAGNETOMETRÍA	35

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

3.	HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES	39
3.1	GENERALIDADES.....	39
3.2	DEFINICIÓN DE RESERVORIOS NO CONVENCIONALES.....	41
3.3	SHALE GAS/OIL.....	42
3.3.1	Origen y formación.....	42
3.3.2	Transformación de la materia orgánica	45
3.3.3	Algunas propiedades del play Shale gas/oil	48
3.3.4	Métodos de exploración y explotación del gas no convencional	50
3.3.5	Cuidados y recomendaciones en el shale gas	52
3.4	ÁREAS DE INTERES SHALE GAS CUENCA SINÚ-SAN JACINTO	54
	CONCLUSIONES.....	58
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

DOCUMENTO DE TRABAJO SGC

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Marco tectónico de la placa Caribe	10
Figura 2 Configuración actual de la placa Caribe.....	11
Figura 3 Reconstrucción de Norte América y Sur América desde el Pangea.	13
Figura 4 Evolución tectónica placa Caribe del Barreniano al Mioceno Medio.	14
Figura 5 Movimiento de la placa Caribe del Cretácico Tardío al presente.	15
Figura 6 Evolución de la placa Caribe a partir del modelo in situ.....	17
Figura 7 Mapa de localización de la cuenca Sinú-San Jacinto.	20
Figura 8 Marco tectónico cuenca Sinú-San Jacinto de acuerdo a Case.....	21
Figura 9 Áreas Offshore y Onshore de la cuenca Sinú-San Jacinto.	21
Figura 10 Estratigrafía generalizada cuenca Sinú-San Jacinto.....	23
Figura 11 Evolución tectónica Sinú-San Jacinto paleo-rift.....	31
Figura 12 Esquema estructural acorde nueva interpretación cuna acrecionaria.	32
Figura 13 Modelo evolución Sinú-San Jacinto Cuña Acrecionaria.....	33
Figura 14 Mapa de Anomalía gravimétrico interpretado con grandes provincias geológicas.	37
Figura 15 Mapa residual magnético reducido al polo con interpretación de grandes provincias geológicas.	38
Figura 16 Shale - roca fuente.	43
Figura 17 Diagrama de Van Kreveln.....	44
Figura 18 Procesos de formación del petróleo.....	47
Figura 19 Contenido de materia orgánica y calidad del kerógeno.	49

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

Figura 20	Madurez térmica.....	49
Figura 21	Curva de generación de gas y petróleo.	51
Figura 22	Espectro de Potencia de la señal gravimétrica.....	54
Figura 23	Espectro de Potencia de la señal magnética.	55
Figura 24	Residual gravimétrico.	56
Figura 25	Residual Magnético.....	56
Figura 26	Áreas Interés Shale-Gas cuenca Sinú-San Jacinto.....	57

RESUMEN

Las áreas de interés de exploración de hidrocarburos no convencionales para shale gas, a partir de información geofísica, técnicas magnéticas y gravimétricas de carácter regional, son el producto de la compilación geología y geofísica de información existente en el Servicio Geológico Colombiano (SGC), Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y Ecopetrol. Aspectos de la compilación como la evolución tectónica del nor-occidente de Suramérica y la estratigráfica de la zona del Caribe colombiano son el marco de referencia para la interpretación de las anomalías magnéticas y gravimétricas. Las zonas de interés para exploración de shale gas que se proponen son el resultado del procesamiento de las señales magnéticas y gravimétricas; procesamiento que involucra los espectros de potencia de las señales, el filtraje en el dominio de las frecuencias de las mismas y la selección de los polígonos más profundos en los residuales que se encontraban a profundidades medias de 5 km.

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

ABSTRACT

From geophysics information, magnetic and gravimetric techniques, the exploration areas for non-conventional hydrocarbons of shale-gas are the product of the geological and geophysical information compiled from the Colombian Geological Service (as known in Spanish Servicio Geologico Colombiano, SGC), Hydrocarbon National Agency (As known in Spanish Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH) and Ecopetrol. The compilation aspects like the tectonics evolution of the South America north-west and the Colombian Caribbean region stratigraphy are the reference for the interpretation of magnetic and gravimetric anomalies. The propose interest zones for shale-gas exploration are the result of the processing magnetic and gravimetric signals, this process involve the spectra of the potential signals, the filtering in the dominance of the frequencies of the potential signals and the selection of deeper polygons on the residuals found at 5 km depth.

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

INTRODUCCIÓN

El propósito de este estudio es plantear áreas de interés regional para la exploración de hidrocarburos no convencionales tipo shale gas, tomando como insumo la información magnética y gravimétrica proporcionada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos en el año 2012 al Servicio Geológico Colombiano, en la cuenca Sinú-San Jacinto.

El estudio del shale gas en la cuenca Sinú-San Jacinto es una investigación que se encuentra adscrita al proyecto de tectónica de la Dirección de Geociencias Básicas del SGC, y tiene como productos este informe y un mapa preliminar, el cual se incluye como Figura 26.

Este informe comprende 3 capítulos; el primero trata del origen y evolución geodinámica de la placa Caribe; el segundo, es una compilación geológica y geofísica del área denominada Sinú-San Jacinto, y el tercero; trata de las generalidades de los hidrocarburos no convencionales y en particular del Shale gas, con el procesamiento de la magnetometría y la gravimetría regional que permitieron plantear las áreas de posible exploración de shale gas en la cuenca Sinú-San Jacinto.

La cuenca Sinú-San Jacinto se encuentra ubicada en la esquina noroccidental de Suramérica, en los límites entre la placa Suramérica y la placa Caribe. La cuenca Sinú-San Jacinto comprende dos sectores; la parte offshore y la parte onshore. La comprensión de la evolución geodinámica de esta cuenta implica el estudio de los modelos de origen y evolución de la placa Caribe, como son el modelo “in situ” y el modelo “alóctono”. Estos modelos son plausibles y presentan puntos a favor y en contra, sin embargo existen algunos puntos comunes para ambos modelos, como la edad de algunos eventos y la composición de la placa. El modelo alóctono o modelo de origen pacífico, cuyo principal exponente es J. Pindell, plantea que la placa Caribe proviene del Pacífico al desprenderse de la placa Farallones y el subsecuente transporte tectónico. El modelo autóctono (modelo “in situ”) plantea que la placa Caribe se formó en medio de la placa de Suramérica y la placa de Norteamérica, y tiene como principales seguidores a T. Donnely, Frish y Meschede.

Respecto a la Compilación geológica y geofísica, se plasmaron los límites de la cuenca, y las zonas offshore y onshore, también se trataron las principales provincias tectónicas y

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

la estratigrafía, haciendo énfasis en la Formación Cansona, como la posible fuente de hidrocarburos y quizá almacenadora de hidrocarburos no convencionales, específicamente shale-gas. También se presentaron las principales inconformidades y algunos modelos de evolución tectónica de la cuenca Sinú-San Jacinto. En cuanto a la compilación geofísica, por tratarse de un estudio regional, se revisaron los estudios magnéticos y gravimétricos, y se enfatizó en las anomalías propuestas hasta la fecha en los distintos trabajos de exploración de hidrocarburos.

El tercer capítulo se dedicó a las generalidades de los hidrocarburos no convencionales, en particular al Shale-Gas. Se intentó mostrar el marco normativo de los hidrocarburos no convencionales a nivel mundial y en Colombia. También se plasmaron algunas definiciones como los reservorios no convencionales, y se trataron aspectos relevantes del Shale gas/oil como; su origen y formación y algunas de sus propiedades. Igualmente, a groso modo, se abordaron los métodos de exploración y explotación, y se enfatizó en algunos cuidados y recomendaciones para la exploración del shale gas. Finalmente, se realiza un procesamiento de los datos magnéticos y gravimétricos, que consiste en encontrar el espectro de potencia de estas señales, haciendo uso de la transformada rápida de Fourier. También se usaron otras herramientas propias del software Geosoft para separar efectos como; el ruido, el regional y el residual. El residual de las señales de los campos potenciales fue la base para determinar las áreas de interés para la exploración de shale-gas en la cuenca Sinú-San Jacinto, áreas que fueron determinadas a partir de la zona del espectro de potencia que se encuentra a una profundidad media de 5 km.

El mapa preliminar de las áreas de interés para exploración de shale-gas se realizó en el software Arc-Map, donde la base del mapa es un modelo digital de elevación y las áreas de interés corresponden a la intersección de los polígonos resultantes tanto de la señal magnética como de la señal gravimétrica.

1. ORIGEN Y EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DE LA PLACA CARIBE

La Placa Caribe tiene una extensión de 3.2 millones de km², en su parte continental incluye América Central, y además constituye el fondo del mar Caribe al norte de las costas de Suramérica; colinda con las placas Norteamérica, Suramérica y Cocos (Figura 1). Su límite norte en su mayor parte es una falla de rumbo (falla de Motagua, falla de las Islas Swan, Fosa del Caimán, la falla de Oriente al sur de Cuba y el norte la Española y la fosa de Puerto Rico). El límite este es una zona de subducción responsable de las islas volcánicas (Antillas Menores, Islas Vírgenes hasta las costas de Venezuela). El límite oeste corresponde a Centroamérica y el límite sur-este a las costas del norte de Suramérica. Así, la placa Caribe limita al norte y este con la placa Norteamericana, al sur y al este con placa Sudamericana, al oeste la Placa de Cocos y al suroeste con la placa de Nazca (Granja Bruña, 2005).



Figura 1 Marco tectónico de la placa Caribe

El color de fondo es la topografía. En el globo se indica la posición geográfica de la placa. Tomada de (Granja Bruña, 2005)

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

La placa Caribe se caracteriza por su constitución de tipo oceánica (Diebold, Stoffa, Buhl, & Truchan, 1981) con un espesor de 10 a 15 km (Diebold et al., 1981; Edgar, Ewing, & Hennion, 1971); espesor que no corresponde a corteza oceánicas típica de 5 km (Edgar, Ewing, & Hennion, 1971). Igualmente se ha determinado su desplazamiento en relación a Norteamérica en 1,4 a 2.2 cm/año (Edgar et al., 1971; Jordan, 1975). Otros autores han marcado este desplazamiento hacia el este entre 1,2 y 4,0 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, 1990; Sykes, McCann, & Kafka, 1982). También se ha reportado un movimiento relativo en dirección E-W a razón de 2,0 a 3,0 cm/año entre el Caribe y los Andes septentrionales de América del Sur. Mann et al., 2002; a partir de datos de GPS, dice que la placa Caribe se mueve hacia el este con respecto a Norteamérica a razón de 18-20 mm/año con un azimut de 70°.

La placa Caribe presenta las siguientes provincias geológicas (Figura 2): (a) Mar Caribe con las cuencas Colombia y Venezuela, y el alto de Beata; (b) La cuenca Grenada , Alto de Aves, Antillas Menores y prisma de acreción de Barbados, al este; (c) Alto de Nicaragua, Cuenca de Yucatán y la Fosa de Caimán, al oeste; y (d) norte de Suramérica con el Sistema Montanos del Caribe, Cuenca de Bonaire, arco de islas de Sotavento, Antillas Holandesas, Alto de Curazao y el Cinturón Deformado del Caribe Sur (Alvarado, 2014).



Figura 2 Configuración actual de la placa Caribe

(1) Fosas y Zonas de Subducción; (2) pliegues frontales; (3) Fallas rumbo-deslizantes; (4) prismas de acreción Cenozoicos. CHC: Chocó; MAY: Maya; CHT: Chortis. (Guita y Orioli, 2011, citado en Alvarado, 2014)

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

De acuerdo al movimiento de la placa Caribe, el efecto en los bordes de la misma se caracteriza por la construcción de límites transcurrentes constituidos por desgarres sinestrales (límite entre la Placa Caribe y la Placa Norteamericana) y desgarres dextrales (límite entre la Placa Caribe y la Placa Sudamericana); límites convergentes en las zonas de subducción en el límite este del Caribe y en la zona de Centroamérica; y límites divergentes definidos por zonas extensionales (rift) como el centro de expansión de las Caimán, y el Paso de Mona. En el interior de la placa actualmente se destacan crestas rígidas y asísmicas como la Cresta de Aves, la Cresta de Beata y el Escarpe de Hess. Algunos autores mencionan que el interior de placa está formado por una meseta oceánica (plató oceánico), con un espesor de 12 a 15 km, y con carácter entre continental y oceánico, con un depósito sedimentario de unos 2 km (Granja Bruña, 2005).

En cuanto al origen de la placa Caribe existe acuerdo entre los científicos en que la fuente basáltica del Caribe fue un punto caliente, que actuó en el Mesozoico Tardío, pero la ubicación de la placa para esa época generó dos tipos de hipótesis, una alóctona y otra autóctona. En la hipótesis alóctona la placa Caribe viene del Pacífico al desprenderse de la placa Farallón, en el punto caliente de Galápagos, y un posterior transporte tectónico extenso (e.g. Burke, Fox, & Şengör, 1978; Ostos, 1990; J. Pindell & Kennan, 2001; J. L. Pindell et al., 1988; J. L. Pindell & Barrett, 1990; Ross & Scotese, 1988); esta hipótesis también se conoce como teoría de origen Pacífico (J. L. Pindell & Barrett, 1990). En la hipótesis autóctona, la placa Caribe se formó en medio de Norte América y Suramérica (e.g. T. Donnelly et al., 1990; T. W. Donnelly, 1989; Frisch, Meschede, & Sick, 1992; Iturralde-Vinent, 1998; JAMES, 2005a, 2005b; Meschede, Frisch, Herrmann, & Ratschbacher, 1996; Sykes et al., 1982); esta hipótesis se conoce también como teoría in situ. Estas hipótesis guardan similitud en la edad del proceso evolutivo hasta el Triásico - Jurásico, de ahí en adelante las hipótesis toman rumbos distintos.

1.1 MODELO DE ORIGEN PACÍFICO (CARIBE ALÓCTONO)

Durante el Triásico - Jurásico con la separación de Laurasia de Gondwana se produce la apertura y formación del espacio del Caribe (Figura 3), también ocurre la separación de las Américas a través de un proceso de rifting, y la respectiva formación de una corteza "in situ" denominada protocaribe; posteriormente el protocaribe se desplaza y se consume en las zonas de subducción, dando también lugar a la formación de los cinturones plegados que rodean el Caribe. Igualmente, una corteza externa (alóctona) proveniente del Pacífico se iba emplazando en el espacio caribeño (Red Cubana de la

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

Ciencia, 2014). Durante el Jurásico Tardío al Cretáceo temprano se crea el borde septentrional de la nueva placa Suramericana, formando su margen pasivo. Se destaca una rotación en sentido antihorario de aproximadamente 18° en el Jurásico medio. En el Jurásico Medio se inicia un momento de divergencia en sentido sureste (J. Pindell & Kennan, 2001).

En el cretácico Norte América y Suramérica ya están bien alejadas como se muestra en la Figura 3; en el cretácico temprano se produce una pluma del manto que afecta el proto-Caribe, y Suramérica continúa separándose de África, evento que trae consigo la creación de zonas de subducción (J. L. Pindell & Barrett, 1990); también durante este periodo de tiempo la placa Caribe empieza a diferenciarse de la Placa Farallón, y se produce una inversión en la polaridad de la subducción en la zona entre Norteamérica y Suramérica, evento que facilita la entrada de la placa Caribe entre las dos Américas, y así continuar su desplazamiento hasta su posición actual (J. L. Pindell & Barrett, 1990) (Figura 4). Para finales del Cretácico se da un engrosamiento de la Placa Caribe por un gran vulcanismo originado en puntos calientes alrededor de la placa Caribe (J. Pindell & Kennan, 2001).



Figura 3 Reconstrucción de Norte América y Sur América desde el Pangea.

La línea negra oscura N-S corresponde al desplazamiento entre los continentes. América del Sur seguía unida a África. (Tomado de JAMES, 2005b).

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto



Figura 4 Evolución tectónica placa Caribe del Barreniano al Mioceno Medio.

Se muestra la migración de la Placa Caribe en el avance del arco desde el Pacífico. (Tomado de JAMES, 2005b).

En el Cretácico Tardío el borde de Suramérica y el Caribe fue más compresivo, y se produjo una depositación importante en el margen pasivo de Suramérica (J. Pindell & Kennan, 2001). De este periodo al reciente (Figura 5), se sintetizan los siguientes eventos comunes para diferentes autores: (1) Maastrichtiense, colisión del proto-Caribe con Norte América y Suramérica; (2) Paleoceno tardío - Eoceno temprano, continúa el movimiento del arco hacia el noreste colisionando con los márgenes pasivos del oeste de Cuba y con el norte de Sudamérica; (3) Final del Eoceno temprano, rotación horaria del margen de colisión y el progreso del arco hacia el noreste; (4) Eoceno medio - Mioceno medio, la Placa Caribe rota en sentido horario y sigue su avance en una dirección más hacia el este; (5) Después del Eoceno medio, se produce una transpresión tectónica al norte de la placa, y en el norte de Suramérica la colisión oblicua continua migrando a lo largo del margen pasivo y el movimiento de la placa Caribe se hace subparalelo al margen pasivo (Granja Bruña, 2005).

Para el modelo de la placa Caribe proveniente del Pacífico, se han presentado los siguientes cuestionamientos principales: "(a) cuando comenzó el avance de la corteza pacifica dentro del Caribe; (b) cómo y porqué se inició el proceso. (c) cómo fue la

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

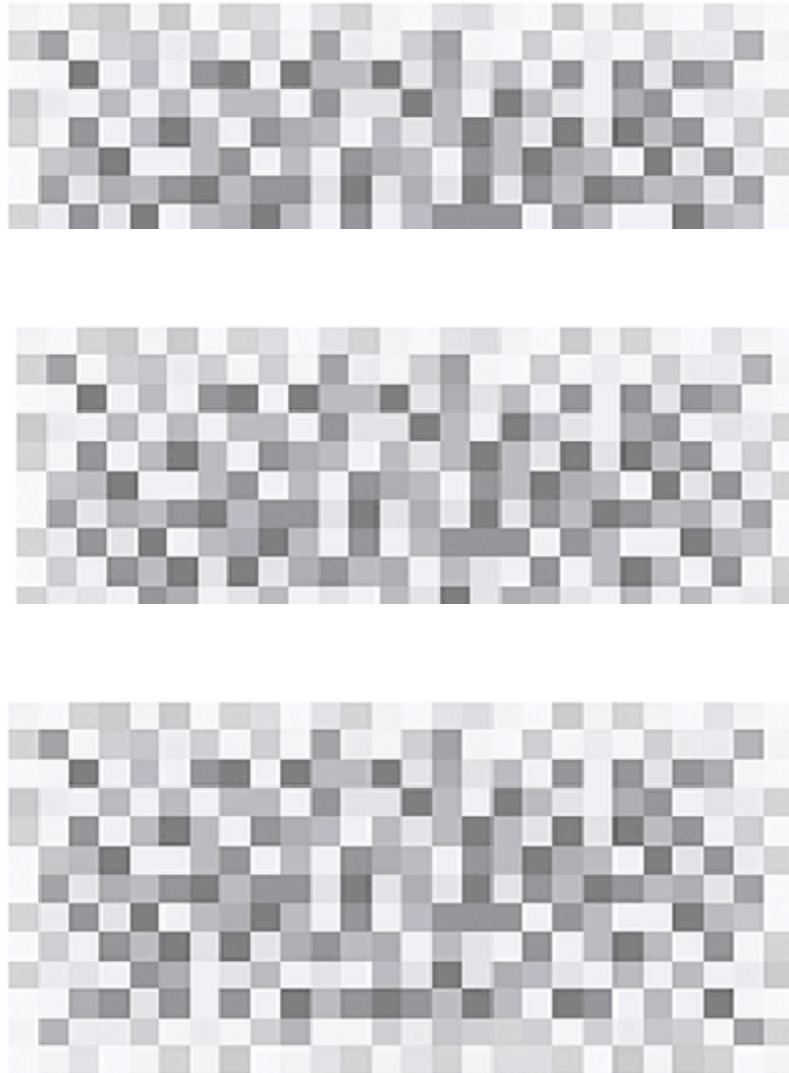


Figura 6 Evolución de la placa Caribe a partir del modelo in situ

(Modificado de Meschede & Frisch, 1998)

En Eoceno Medio se generaron discordancias regionales que se encuentran por encima de sedimentos clásticos sobre los carbonatos marinos-someros regionales de edad Cretácico Tardío (K. H. JAMES, 2005b); también se desarrollaron nuevas zonas de subducción intraoceánica y zonas de convergencia que generaron conjuntos de rocas metamórficas de alta presión y temperatura, donde los mecanismos complejos de subducción provocaron colisión continental, acreción de terrenos en los márgenes

Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (Shale Gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto

continentales y fuerte erosión de las zonas expuestas (Giunta & Oliveri, 2009). Para el Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano la placa Farallón se divide en la placa Cocos y la placa Nazca; debido al movimiento de Suramérica hacia el oeste, el arco de Panamá colisiona con la Cordillera Occidental de Colombia y causó su escape hacia la cuenca Colombia (Meschede & Frisch, 1998); hasta que finalmente en el Plioceno se logra la configuración actual de la placa Caribe.

Al modelo de la placa Caribe in situ se le atribuyen diferentes problemas como: falta de evidencia de material volcánico mezclado con las secuencias de dichas plataformas; falta de material volcánico en los márgenes continentales; faltan horizontes de vulcanitas (Tobas, tufitas, etc.) entre las secuencias de los márgenes pasivos, donde se desarrollaron arcos; falta de material para que se consuma en las zonas de subducción y genere el magmatismo de los arcos; y algunos autores argumentan problemas geométricos (Red Cubana de la Ciencia, 2014). Sin embargo, aunque los modelos del Pacífico siempre han sido complejos y se están incrementando cada vez más, no dan cabida a la geología conocida, mientras que el modelo in-situ es simple y se acomoda la geología conocida.

DOCUMENTO DE TRABAJO 300