

# INFLUENCIA MARINA EN EL EOCENO TARDÍO DEL ORIENTE Y SURORIENTE DE COLOMBIA

Santos, C.<sup>1</sup>; Jaramillo, C.<sup>2</sup>; Torres, V.<sup>3</sup>; Rueda, M.<sup>4</sup>; Flórez, P.<sup>5</sup>; Rodríguez, G.<sup>6</sup>

## RESUMEN

Durante el Eoceno Tardío en las Cuencas Subandinas de Colombia tuvo lugar la depositación de uno de los más importantes reservorios del país: la Formación Mirador. Diversos modelos deposicionales reconocen un ambiente típicamente fluvial para su base, y ambientes más transicionales para su tope. Sin embargo, la presencia de una influencia marina en el tope del Mirador es aún discutida, y la distribución geográfica de este probable evento es desconocida. Con el objeto de establecer la paleogeografía de esta ingresión marina se analizaron palinológicamente 77 pozos y 3 secciones ubicados en el Oriente de Colombia. La influencia marina en los sedimentos se estableció determinando la Paleosalinidad asociada mediante un Índice de Salinidad (SI), que describe la relación entre palinomorfos marinos y continentales. La ingresión marina está registrada en dos áreas: la primera, en la Cordillera Oriental y el Piedemonte Llanero Central; y la segunda, en la cuenca del Putumayo. El comportamiento de la paleosalinidad sugiere que al Sur, en la Cuenca del Putumayo, la ingresión marina invadió el territorio Colombiano en sentido S-N a través de la costa Ecuatoriana. Sin embargo, cómo ingresó a la Cordillera Oriental y al sector central del Piedemonte no es claro, y los modelos paleogeográficos propuestos no lo explican satisfactoriamente. Un nuevo modelo paleogeográfico para el Eoceno Tardío deberá ser planteado.

**Palabras Claves:** Eoceno Tardío; Palinología; Índice de Salinidad; Influencia Marina; Formación Mirador

## MARINE INFLUENCE DURING LATE EOCENE IN EASTERN AND SOUTH EASTERN COLOMBIA

### ABSTRACT

During Late Eocene in the Colombian Subandean basins one of the most important oil bearing Rocks in Colombia was deposited: The Mirador Formation. Most of the depositional models proposed recognize a typically fluvial environment for the Mirador's base and transitional environments for its top. These models disagree about a probable Marine Influence in the Mirador's Top, and the geographical distribution of this event remains unknown. In order to determine the paleogeography of this event, 77 wells and 3 sections were palynologically analyzed. The presence of the marine influence in the sediments was determined using a Salinity Index (SI) which describes the reverse relationship between continental and marine palynomorphs. Marine Influence was recognized in two areas: the first one, in the Eastern Cordillera and the Central-Eastern Foothills; and the second one, in the Putumayo Basin. Paleosalinity patterns suggest that in the Putumayo Basin the marine ingression flooded in to the Colombian territory in a South-North direction, through the Ecuadorian Coast. How the Marine Ingression flooded into the Eastern Cordillera and Central-Eastern Foothills is not clear, and paleogeographical models proposed can not explain it. A new paleogeographical model for the Colombian Late Eocene considering this event must be proposed.

**Key Words:** Late Eocene; Palynology; Salinity Index; Marine Influence; Mirador Formation

---

<sup>1</sup> GEMS Ltda. Grupo de Bioestratigrafía - Instituto Colombiano del Petróleo. Kilómetro 6 Vía Piedecuesta. Santander, Colombia. carlossantosd@yahoo.com

<sup>2</sup> Smithsonian Tropical Research Institute. Balboa – Ancon. Panamá. jaramilloC@stri.edu

<sup>3,6</sup> ECOPETROL - Instituto Colombiano del Petróleo. Kilómetro 6 Vía Piedecuesta. Santander, Colombia vladimir.torres@ecopetrol.com.co ; guillermo.rodriguez@ecopetrol.com.co

<sup>4</sup> Paleoflora EU. Grupo de Bioestratigrafía - Instituto Colombiano del Petróleo. Kilómetro 6 Vía Piedecuesta. Santander, Colombia. paleoflora@yahoo.com

<sup>5</sup> adrianaflorez79@yahoo.com.mx

## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente se ha considerado que las secuencias sedimentarias depositadas durante el Eoceno Tardío en Colombia son típicamente fluviales (Notestein, 1944; Van der Hammen, 1960; De Porta, 1962). Sin embargo, el carácter granodecreciente de estas secuencias, evidencia un aumento de la subsidencia que ocasionó que los ambientes fluviales se hicieran más transicionales (predominantemente deltáicos) (Cooper *et al.*, 1995; Villamil, 1999), e incluso permitió la entrada de esporádicas intrusiones marinas (Villamil, 1999). Modelos paleogeográficos elaborados por Cooper *et al.* (1995), Pindell *et al.* (1997) y Villamil (1999) indican que una ingesión marina inundó la Cuenca de los Llanos Orientales a través del Lago de Maracaibo. Adicionalmente, información obtenida a partir de corazones, de registros de pozos (Fajardo *et al.*, 2000), y de análisis palinológicos (Osorio, 2000), sugiere que durante el Eoceno Tardío tuvo lugar una ingesión marina en el suroccidente del país (sur de los Llanos Orientales y sector occidental de la cuenca del Putumayo), cuya entrada podría haber ocurrido por la costa ecuatoriana, localizada al sur de esta región (Osorio, 2000).

En contraposición, interpretaciones sedimentológicas elaboradas por Higgs (1997), desconocen una influencia marina en sedimentos del Eoceno Tardío en el Piedemonte Llanero, y descarta la posibilidad de que una ingesión marina haya tenido lugar en este sector.

Este trabajo pretende establecer la presencia y la distribución paleogeográfica de una probable influencia marina en los sedimentos del Eoceno Tardío del Oriente de Colombia. Para ello se estableció palinológicamente, la Paleosalinidad asociada a este evento, mediante un Índice de Salinidad (SI) que describe la relación entre Palinomorfos marinos y continentales.

## EL EOCENO TARDÍO EN EL ORIENTE DE COLOMBIA

El Eoceno Tardío en el Oriente de Colombia está indicado por el tope de la zona palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* (Jaramillo y Rueda, 2004), que está marcado por la última aparición de esta especie. Este evento que se considera como el marcador del Límite Eoceno-Oligoceno, ha sido reconocido tanto en la Cuenca del Catatumbo, el Piedemonte Llanero y el

Sur de los Llanos Orientales (Jaramillo y Rueda, 2004), como en el Valle Superior del Magdalena y Cuenca del Putumayo (Osorio *et al.*, 2000).

En la Cuenca del Catatumbo, el Piedemonte Llanero y el Sur de los Llanos Orientales, este evento ha sido reconocido en el tope de la Fm. Mirador y en la base de la Fm. Carbonera. (Jaramillo y Rueda, 2004). La Formación Mirador está constituida por una serie de areniscas masivas, limpias, moderadamente duras a friables, de grano fino a grueso, algunas veces conglomeráticas (Notestein *et al.*, 1944; Hubach, 1957; Van der Hammen, 1960; De Porta, 1962). En ella se han distinguido dos miembros: uno inferior, constituido por areniscas de grano medio a grueso con una estratificación más delgada que la de la parte superior; y uno superior, de especial interés para el presente estudio, conformado por areniscas cuarzosas y conglomeráticas con intercalaciones lodosas que a medida que se asciende estratigráficamente en la secuencia, se hacen más constantes y presentan un mayor espesor (Fajardo *et al.*, 2000). La base del Mirador ha sido interpretada como depósitos de ríos trezados, ríos meandriformes, y planicies deltáicas (Villamil, 1999), e incluso autores como Cazier *et al.* (1995) y Cooper *et al.* (1995) reconocen cierta influencia marina, proponiendo para ella un ambiente de valles fluviales y estuarinos que incidieron dentro de una planicie costera agradable. El ambiente de depositación del tope de la formación ha sido objeto de discusión, la cual, ha estado enfocada en la naturaleza marina transicional o continental de los niveles lodolíticos reportados (Cazier *et al.*, 1997; Higgs, 1997). Cazier *et al.* (1995, 1997) basados en asociaciones esporopolínicas, en la presencia limitada de quistes de dinoflagelados y foraminíferos quitinosos, y en la ocurrencia de icnofósiles típicos de aguas salobres, establecen un ambiente marino marginal. En contraste, Higgs (1997) considera que dicha influencia marina no está registrada en el tope de la Formación Mirador, y propone una planicie de origen aluvial, con canales fluviales, paleosuelos de overbank y lagos.

La Formación Carbonera, que suprayace transicionalmente a la Formación Mirador, está constituida por una serie de intercalaciones de arcillas, lodolitas y areniscas en las que se han identificado cinco ciclos estratigráficos. Su base está constituida por una serie de lodolitas grises depositadas en un ambiente de planicie costera con influencia salobre (una bahía o un estuario) (Fajardo *et al.*, 2000).

En el Sur (Valle Superior del Magdalena y Cuenca del Putumayo), la última aparición del *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* (marcador del tope de la zona palinológica Ca2 y del límite Eoceno-Oligoceno) está registrado en la base de la Formación Orteguaza (Osorio *et al.*, 2000). La Formación Orteguaza está constituida por una alternancia de arcillas y limolitas de color verde y marrón oscuro hacia la base, y por lodolitas carbonosas interestratificadas con areniscas arcillosas hacia el tope. Las arcillolitas basales son interpretadas como el “Maximum Flooding Surface” del Eoceno Tardío (Osorio *et al.*, 2000). Tanto en la Cuenca del Putumayo como en la Cuenca de Oriente en el Ecuador, se ha interpretado que esta formación se depositó en un ambiente de plataforma marina interna (zona infratidal) (INTERNATIONAL, W.A., 1995; Rivadeneira *et al.*, 1997; Rivadeneira y Baby, 1999; Osorio *et al.*, 2000).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra ubicada al Oriente y Sureste de Colombia, y comprende la Cordillera Oriental y las cuencas del Catatumbo, los Llanos Orientales, la porción más sur del Valle Superior del Magdalena (Subcuenca de Neiva) y la Cuenca del Putumayo (FIGURA 1). Se seleccionaron 77 pozos y 3 secciones distribuidos en un tren de dirección SW-NE, que se consideró paralelo a la probable distribución del evento de interés. Cada uno de ellos se analizó palinológicamente con el fin de establecer la última aparición del *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis*, que marca el tope de la Zona Palinológica Ca2 (Jaramillo y Rueda, 2004) y es indicador del Eoceno más Tardío. Las placas fueron preparadas en el Laboratorio de Preparación de Muestras Geológicas del **Instituto Colombiano de Petróleo (ICP)**, usando la técnica propuesta por Traverse (1988).

El análisis palinológico se realizó usando microscopios Zeiss ICS KF2 y Zeiss Axioskop. En cada placa se realizó un conteo mínimo de 300 granos con el fin de estandarizar los datos (Hayek y Buzas, 1997). Se diferenciaron dos grupos de palinomorfos: los continentales, conformados por granos de polen y esporas; y los marinos, entre los que se identificaron dinoflagelados, foraminíferos quitinosos y acritarcos. Para aquellas placas con bajo recobro se estableció un conteo mínimo (o cutoff) equivalente a 169 palinomorfos, que garantiza un nivel de confianza del 95% dentro de un intervalo de confianza de +/- 5%.

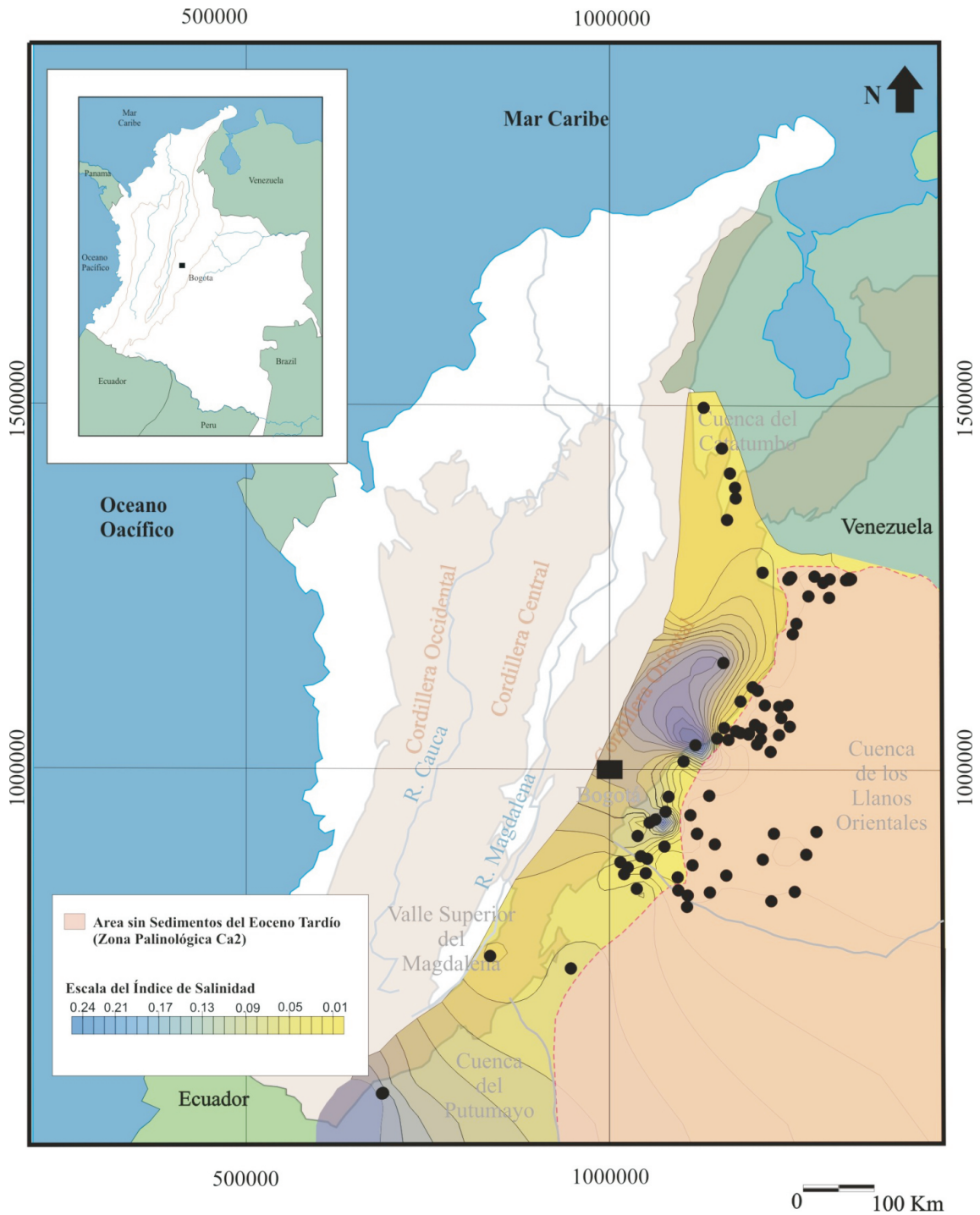
Este conteo mínimo o “cutoff” fue calculado usando el software “**Sample Size Calculator**”. Una vez completados los 300 granos, el área restante de la placa fue barrida con el fin de corroborar la presencia del *E. trianguliformis* variedad *orbicularis* y establecer si el área analizada era representativa del total de la placa.

## Determinación del índice de Salinidad (SI)

El índice de Salinidad (SI) fue definido como la frecuencia relativa de palinomorfos marinos. Este índice ha sido utilizado en la elaboración de ecoregistros (curvas construidas en profundidad o en tiempo usando datos paleoecológicos) en los que pueden identificarse cambios en el nivel relativo del mar, límites de secuencias estratigráficas (Sequences boundaries) y superficies de inundación (Maximum Flooding Surfaces) (Rull, 2000; 2002). Al igual que otros índices usados en la elaboración de ecoregistros, tales como el Índice de Límite Mareal (TLI) (Rull, 2000) o el Índice Paleovegetacional (Rull, 2002), es una técnica ecoestratigráfica sintética, es decir, es una relación matemática deducida a partir de la observación, para este caso específico, del comportamiento de las abundancias de palinomorfos marinos y continentales (Rull, 2000). El Índice de Salinidad (SI) se calculó usando la fórmula  $SI = M/T$ ; donde *SI* es el Índice de Salinidad; *M*, es la suma de palinomorfos marinos; y *T*, es la suma total de granos (tanto marinos como continentales) en la muestra. De esta forma el SI estará oscilando entre 0, cuando la muestra sea totalmente continental, y 1, cuando sea totalmente marina. El SI fue calculado para cada placa. El valor del Índice de Salinidad que expresara mayor salinidad y estuviera más próximo al tope de la zona palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis* fue ploteado sobre un mapa, y entre estos puntos se realizó una interpolación usando el Método de Kriging. Para la elaboración del mapa de Isosalinidad se utilizó el software Surfer (Win 32) Versión 6.02.

## RESULTADOS

Sedimentos del Eoceno Tardío fueron reconocidos en la Cuenca del Catatumbo, el Piedemonte Llanero, el Valle Superior del Magdalena y la Cuenca del Putumayo. En la Cuenca de los Llanos Orientales, solo en el sector suroccidental, se reconocieron sedimentos del Eoceno más Tardío.



**FIGURA 1.** Localización del Área de Estudio y Distribución de la Paleosalinidad durante el Eoceno mas Tardío en el Oriente y Suro-riente de Colombia. Los puntos negros indican la localización de los pozos y secciones analizadas. Dos áreas con influencia marina son registradas: una en la Cordillera Oriental y el sector central de los Llanos Orientales y otra en la Cuenca del Putumayo.

Dos áreas con valores altos en el Índice de Salinidad han sido determinadas: la primera muy marcada, localizada en la Cordillera Oriental y el sector central del Piedemonte Llanero; y la segunda, menos notoria, en el sur, incluyendo el Sur de la Cuenca del Putumayo (FIGURA 1)

En el sector central del Piedemonte Llanero se presentan los valores más altos de Salinidad (0.10 - 0.19). Sin embargo, tanto hacia el sur como hacia el norte se observa una disminución en los valores de esta (FIGURA 1). Hacia el norte, los valores en el SI disminuyen, pasando de 0.19, a 0.021 en el Catatumbo. Hacia el sur, al igual que en el norte, los valores de Salinidad son bajos (0.035 - 0.041).

El sector Sur (Cuenca del Putumayo, el Sur de los Llanos Orientales y el Valle Superior del Magdalena), se caracteriza por presentar un aumento gradual en los valores de la Salinidad hacia el suroeste (FIGURA 1). En este sector, el valor más alto de Salinidad se observa en la Cuenca del Putumayo (~ 0.10). Tanto en el Valle Superior del Magdalena (0.017) como en el Sur de los Llanos Orientales (0.035), el SI es bajo con relación al obtenido en el Putumayo.

## DISCUSIÓN

### INFLUENCIA MARINA

La naturaleza marina transicional o continental de los sedimentos del Eoceno más Tardío en Colombia ha estado en discusión (Cazier *et al.*, 1997; Higgs, 1997). Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren una influencia marina en sedimentos del Eoceno más Tardío (Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* variedad *orbicularis*) en la Cordillera Oriental y el sector central del Piedemonte Llanero y en el Sur, en la Cuenca del Putumayo (FIGURA 1). Esta influencia marina no está registrada en el Norte, en la Cuenca del Catatumbo, ni en el Sur de los Llanos Orientales y el Sur del Valle Superior del Magdalena.

El área Norte, localizada en la Cuenca del Catatumbo, presenta valores muy bajos en el SI (aproximadamente entre 0 - 0.02). Allí, la presencia de quistes de dinoflagelados y foraminíferos es insignificante: por cada 100 palinomorfos reconocidos, solo 2 tendrían afinidad marina. Esto estaría sugiriendo que en este sector la Influencia Marina es nula.

En el sector central del Piedemonte Llanero y la Cordillera Oriental, los valores del SI, que oscilan entre 0.1 y 0.2 aproximadamente, sugieren un área con influencia marina (FIGURA 1). En la sección Piñalera, estudiada por Jaramillo y Dilcher (2001), el alto contenido de dinoflagelados y foraminíferos permitió reconocer un "Maximum Flooding Surface" e interpretar un ambiente conformado por lagos en una llanura de inundación costera (Jaramillo, 1999). Este sector, incluye el área de Cusiana, donde Cazier *et al.* (1997) reconocen una influencia marina al tope de la Formación Mirador, evidenciada por la presencia de fósiles traza, y la ocurrencia limitada de quistes de dinoflagelados y foraminíferos quitinosos. Dentro de los icnofósiles reportados, Cazier *et al.* (1997) reconocieron los icnogéneros *Teichichnus*, *Arenicolites*, *Thalassinoides*, *Ophiomorpha*, *Diplocraterion*, *Paleophycus*, *Macaronichnus*, *Skolithos*, *Gyrolithes* y *Planolites*, que se caracterizan por no tener afinidad alguna con ambientes de aguas dulces, y que según Pemberton y MacEachern (1995) está relacionada con ambientes marinos marginales que incluyen la zona intermareal, lagoons someros, estuarios y plataformas deltáicas.

Al sur de los Llanos Orientales, en el sector de la Serranía de la Macarena, la influencia marina es nula (FIGURA 1). En los pozos de esta área, la ocurrencia de palinomorfos marinos es bastante menor que en el área central de los Llanos Orientales. Los SI de estos pozos, que varían entre 0.03 y 0.04 (por cada 100 palinomorfos solo 3 o 4 tendrían afinidad marina), podrían sugerir que en esta zona, la sedimentación estuvo ligeramente influenciada por condiciones marinas. Reyes *et al.* (1997) basados en asociaciones esporopolínicas, establecen un ambiente fluvial y fluvio-lacustre con ocasional influencia marina.

En la Cuenca del Putumayo y el Sur del Valle Superior del Magdalena (porción más Sur de la subcuenca de Neiva), el valor del SI aumenta hacia el suroeste (FIGURA 1). En el Sur del Valle Superior del Magdalena, el contenido de dinoflagelados y foraminíferos es casi nulo (el SI es 0.02, es decir, por cada 100 palinomorfos reconocidos solo dos serían marinos); mientras hacia el Sur, en la Cuenca del Putumayo, la presencia de estos palinomorfos es ligeramente mas alta (El SI es 0.1 aproximadamente, indicando que de cada 100 palinomorfos, 10 tendrían afinidad marina). La distribución de los valores del SI, sugiere que una influencia marina, menos marcada que en el sector central del Piedemonte Llanero, se registra

en la Cuenca del Putumayo, pero no en el Sur del Valle Superior del Magdalena.

### IMPLICACIONES PALEOGEOGRÁFICAS

El régimen regresivo global que caracterizó el Eoceno Tardío contrasta notoriamente con la influencia marina que se registró algunos sectores de las Cuencas Subandinas Colombianas. Zachos *et al.* (2001) establecen que durante el Eoceno Medio a Tardío se presentó una pérdida de volumen de agua en los océanos que se manifestó en una caída del nivel del mar en el Eoceno Tardío (Haq *et al.*, 1988). En oposición al contexto global, la información palinológica derivada de este estudio muestra que durante el Eoceno Tardío una ingresión marina tuvo lugar en la Cordillera Oriental y en el sector central del Piedemonte Llanero (donde se encuentra registrada en los niveles lodolíticos del Tope del Mirador y en la base de la Formación Carbonera) y en la Cuenca del Putumayo (registrada en la base de la Formación Orteguzaza); sugiriendo que en estas áreas la subsidencia debió haber sido más alta que la pérdida de espacio generada por la regresión global.

La distribución geográfica de este evento y la ausencia de sedimentos de edad Eoceno Tardío en casi toda la Cuenca de los Llanos Orientales (solo en el sector suroccidental se registran sedimentos de esta edad), sugiere que elementos positivos como el Arco de Arauca y el Paleotallo de Florencia ejercieron un control tanto en su distribución, como en la sedimentación. Esto es sugerido por los cerros depositacionales reportados a lo largo del Escudo (Reyes *et al.*, 1997; Fajardo *et al.*, 2000); así como por la ausencia de sedimentos de edad Eoceno Tardío (Zona palinológica Ca2) en casi toda el área de Arauca (Jaramillo y Rueda, 2004) y en el Suroccidente de la Cuenca de Apure en Venezuela (Ortega *et al.*, 1987; Boesi *et al.*, 1988; Monroy y Van Erve, 1988; Cabrera, 1995). En este sector, González (1985) y Monroy y Van Erve (1988) destacan la ausencia del *E. trianguliformis* var. *orbicularis*. Allí, la secuencia Cretácica se encuentra suprayacida por sedimentos de edad Oligoceno (González, 1985; Ortega *et al.*, 1987; Monroy y Van Erve, 1988; Cabrera, 1995).

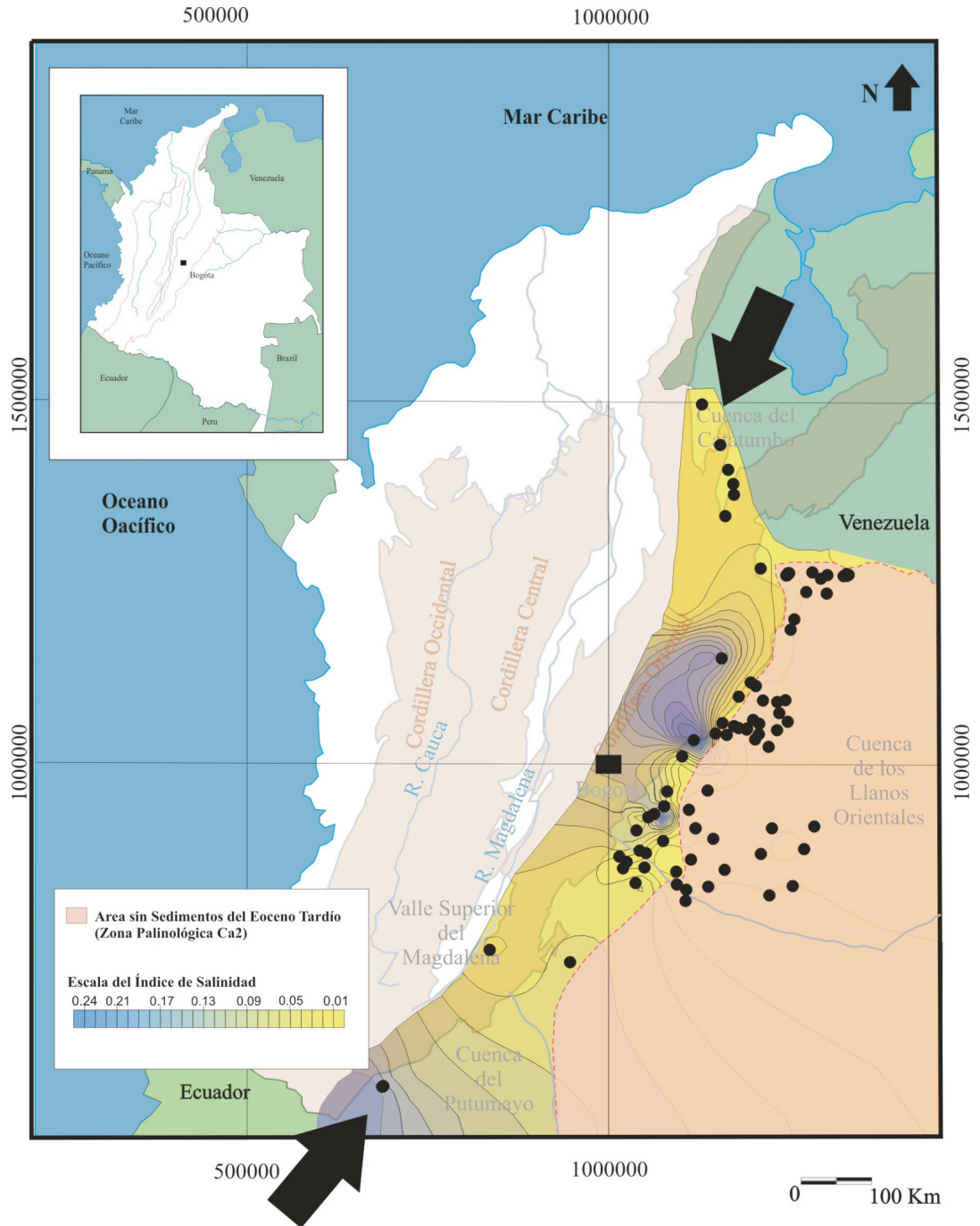
Los sedimentos del Eoceno Tardío, en el sector N de los Llanos Orientales y el W de Venezuela se encuentran restringidos al borde oriental de los Andes Colombo – Venezolanos. En Colombia, han sido reconocidos en el Piedemonte de la Cordillera Oriental, en la Sección La Regadera (Jaramillo y Dilcher, 2001), y en el Catatumbo

(Jaramillo y Rueda, 2004), donde los valores del SI sugieren que esta área no estuvo sometida a influencia marina, hecho que podría indicar que esta estaba topográficamente más alta que el sector Central del Piedemonte Llanero, o que en ella, la sedimentación no estuvo influenciada por aguas salobres. Más al N, en la Cuenca de Maracaibo (Venezuela) y en los Andes de Mérida, González (1985) y Boesi *et al.* (1988) reconocen en sedimentos de esta edad, un ambiente salobre.

En el Sur de los Llanos Orientales los valores del SI sugieren que en esta área la sedimentación no estuvo bajo influencia marina (FIGURA 2). Adicionalmente y debido a que los sedimentos de esta edad se encuentran en onlap hacia el Oriente, y se adelgazan hacia el suroriente (Reyes *et al.*, 1997) se podría sugerir que este sector estuvo más levantado que el sector central del Piedemonte Llanero, impidiendo la propagación de la influencia en esta dirección.

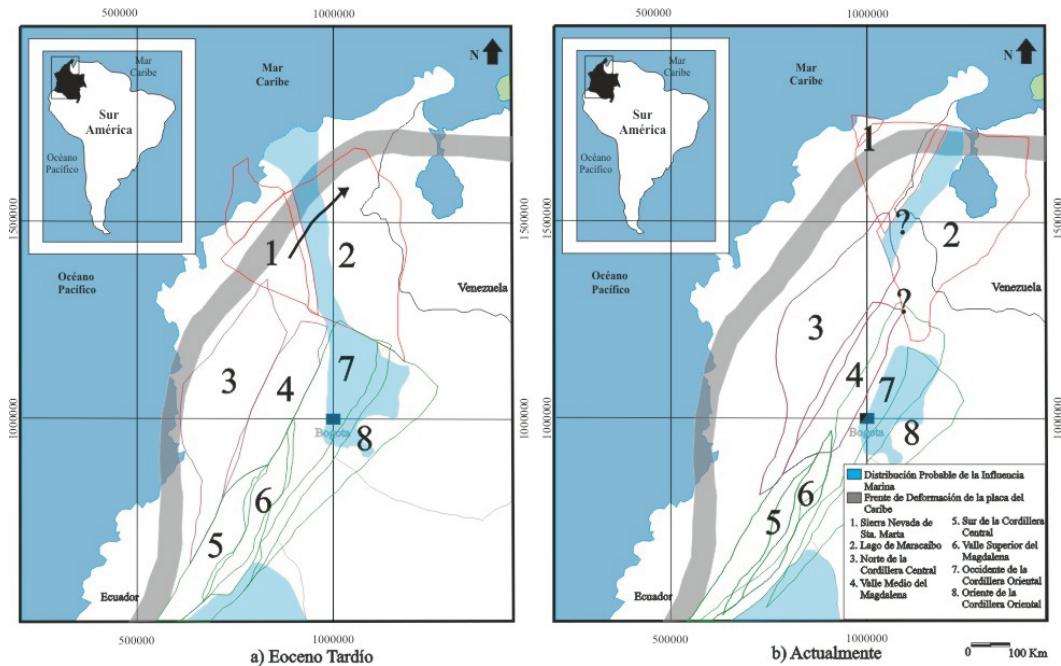
La hipótesis más probable, se planteó considerando un modelo dinámico para el NW de Suramérica propuesto por Montes *et al.* (2005), que permitiría plantear que la ingresión marina pudo provenir del Noroccidente de la Costa Caribe de Colombia (FIGURA 3). Este modelo que divide el NW de Suramérica en tres bloques, el bloque de Maracaibo, la Cordillera Central y la Cordillera Oriental, sugiere que a causa de la deformación asociada con el avance de la Placa del Caribe hacia el Nororiente a lo largo del borde de la Placa de Suramérica, los bloques de Maracaibo y la Cordillera Central se trasladaron y rotaron hacia el nororiente en sentido de la manecillas del reloj, mientras la actual Cordillera Oriental sufrió deformación interna (FIGURA 3a). Teniendo en cuenta que para el Eoceno más Tardío Montes *et al.* (2005) proponen que tanto la Sierra Nevada de Santa Marta como la Cordillera Central se encontraban hacia el Suroccidente de su posición actual (FIGURA 3), se podría sugerir que la influencia marina pudo avanzar hacia el territorio colombiano a través de una franja NW-SE que debido a la rotación y traslación de estos bloques, estaría actualmente distribuida en el sector más Occidental de la Cuenca de Maracaibo.

En el Sur, en la Cuenca del Putumayo, los valores del SI sugieren que la Influencia Marina provino del Sur, invadiendo el territorio en un sentido Sur – Norte (FIGURAS 2 y 3). Osorio *et al.* (2000) reconocen en la base de la Formación Orteguzaza, un “Maximum Flooding Surfa-



**FIGURA 2.** Distribución geográfica de la influencia marina registrada en el Oriente y Suroriente de Colombia durante el Eoceno Tardío. Hipótesis 1. (Basado en Santos y Flórez (2005)). Esta hipótesis asume que la ingresión marina inundó el territorio Colombiano en dos direcciones: en el sector norte, Cordillera Oriental y Sector central del Piedemonte Llanero, lo hizo en un sentido N-S, a través del lago de Maracaibo; y en el Sur, fluyó en un sentido S-N. Sin embargo, debido a la presencia de sedimentos del Eoceno Tardío sin influencia marina en la Cuenca del Catumbo parece poco probable que esta haya proveniendo de allí.

### Influencia marina en el Eoceno Tardío del oriente y suroriente de Colombia



**FIGURA 3.** Distribución geográfica de la influencia marina registrada en el Oriente y Suroriente de Colombia en el Eoceno Tardío: Hipótesis 2. (Basado en Montes et al. 2005 y tomada de Santos y Flórez (2005)). Basada en el Modelo Tectónico propuesto por Montes *et al.* (2005) para el NW de Suramérica, considera que la Influencia marina de la Cordillera Oriental y el Sector Central del Piedemonte Llanero podría provenir del Noroccidente, de la Costa Caribe de Colombia, ya que la Cordillera Central y la Sierra Nevada de Santa Marta estarían al Suroccidente de su posición actual (a). Debido a la rotación y traslación de estos bloques por el avance de la placa del Caribe hacia el Oriente, esta influencia estaría actualmente distribuida como se muestra en (b). La Influencia marina que se registra en la Cuenca del Putumayo podría provenir de la Costa Ecuatoriana

ce”, que inundó el sur del Valle Superior del Magdalena al igual que la Cuenca del Putumayo. Sin embargo, el registro palinológico obtenido en este trabajo indica que este evento, se desarrolló después de la extinción del *E. trianguliformis* variedad *orbicularis* (Tope de la zona palinológica Ca2, indicadora del límite Eoceno-Oligoceno), durante el Oligoceno Temprano (FIGURAS 2 y 3). En la Cuenca de Oriente (Ecuador), una ingesión marina es registrada desde el Eoceno Medio hasta el Oligoceno Temprano (Rivadeneira y Baby, 1999). Al igual que en las cuencas de Colombia, esta ingesión, está asociada a un aumento en la Subsistencia (Rivadeneira y Baby, 1999). Aún cuando Rivadeneira y Baby (1999) no mencionan específicamente la herramienta bioestratigráfica empleada para la datación y la interpretación ambiental de la Formación Orteguzza en el Ecuador, dos factores soportan la posibilidad de que la influencia marina reconocida en el tope de la Zona palinológica Ca2 en el sur de Colombia pueda estar asociada a este evento: el primero, la presencia de nódulos piríticos y lodolitas negras y fisiles

que evidencian un ambiente de plataforma marina somera (Rivadeneira y Baby, 1999); y el segundo, que la Cuenca del Putumayo es la extensión mas Norte de la Cuenca de Oriente, por lo que tienen una historia geológica común (Cooper *et al.*, 1995; INTERNATIONAL, W.A., 1995; Osorio *et al.*, 2000). Es probable, que la influencia marina que se desarrolló durante el Eoceno más Tardío en el sur de Colombia, se abriera paso a través de la Costa Ecuatoriana (FIGURAS 2 y 3).

### CONCLUSIONES

Sedimentos del Eoceno más Tardío (Tope de la zona palinológica Ca2, *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis*) solo fueron reconocidos en la Cordillera Oriental, el Piedemonte Llanero, el Sur de los Llanos Orientales, el Sur del valle Superior del Magdalena y la Cuenca del Putumayo. A diferencia de lo reportado en la literatura, en gran parte de la Cuenca de los Llanos Orien-



tales sedimentos de esta edad no fueron registrados. La Influencia marina se registra en la Cordillera Oriental, el sector Central del Piedemonte Llanero y en la Cuenca del Putumayo; mientras en la Cuenca del Catatumbo, el Sur de los Llanos Orientales, la Cuenca Yari-Caguán, y el Sur del Valle Superior del Magdalena esta influencia es nula. En la Cuenca del Putumayo, el aumento en los valores del SI hacia el Suroccidente, sugiere que esta Influencia pudo provenir del Sur, de la Costa Ecuatoriana. Respecto a la proveniencia de la Influencia Marina registrada en la Cordillera Oriental y el Sector Central del Piedemonte Llanero, no hay claridad. Aunque parece probable que esta haya provenido del Noroccidente, a través del Caribe Colombiano, un nuevo modelo paleogeográfico debe ser elaborado, ya que con los actuales no se tienen argumentos suficientes para explicarla.

## AGRADECIMIENTOS

A ECOPEPETROL - ICP por permitir la publicación de este trabajo y a todo el Equipo de Bioestratigrafía del ICP por su trabajo y su colaboración.

## REFERENCIAS

- Boesi, T., Rojas, G., Durán, I., Galea, F., Lorente, M., Velásquez, M. (1988). Estudio Estratigráfico del Flanco Norandino en el Sector Lobatera - El Vigía. III Simposio Bolivariano "Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas", Caracas, Venezuela.
- Cabrera, E. (1995). Revisión Estratigráfica del Terciario, Venezuela Suroccidental. VI Congreso Colombiano del Petróleo, Bogotá, Colombia.
- Cazier, E. C., Cooper, M., Eaton, S. G., Pulham, A. J. (1997). Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Eastern Cordillera and Middle Magdalena Valley, Colombia: Reply. AAPG Bulletin 81 No. 8, pp.1332-1335.
- Cooper, M. A., Addison, F. T., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R. H., Hayward, A. B., Howe, S., Martinez, J., Naar, J., Penas, R., Pulham, A. J., and Tabora, A. (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Eastern Cordillera and Middle Magdalena Valley, Colombia. AAPG Bulletin 79 No.10, pp. 1421-1443.
- De Porta, J. (1962). Consideraciones sobre el estado actual de la Estratigrafía del Terciario en Colombia. Boletín de Geología 9, pp. 5-43.
- Fajardo, A., Cristancho, J., Rojas, L. (2000). Definición del Modelo Estratigráfico en la Cuenca de los Llanos Orientales, Piedemonte Llanero. Piedecuesta, Santander, Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) - ECOPEPETROL.
- González, E. (1985). Comentarios Bioestratigráficos en relación al Terciario en áreas adyacentes a los Andes Colombo-Venezolanos. II Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las cuencas Subandinas de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Haq, B., Hardenbol, J., Vail, P. (1988). Sea level Changes: an integrated approach/ Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles. Society of economic paleontologists and mineralogists. Special Publication 42.
- Hayek, L. A., Buzas, M. A. (1997). Surveying Natural Populations. Columbia University Press. 563 p.
- Higgs, R. (1997). Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: Discussion. AAPG Bulletin 81, No.8, pp. 1330-1331.
- Hubach, E. (1957). Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. Boletín Geológico, Vol. 5, No.2, pp. 93-112.
- INTERNATIONAL, W. A. (1995.). Regional evaluation of the upper Magdalena and Putumayo basins of Colombia., Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPEPETROL).
- Jaramillo, C. (1999). Middle Paleogene Palynology of Colombia, South America: Biostratigraphic, Sequence Stratigraphic and Diversity Implications. Gainesville, University of Florida. Ph. D. Dissertation; 413p.
- Jaramillo, C., Dilcher, D. (2001). Middle Paleogene palynology of Central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes. Palaeontographica, Vol. 258, pp. 87-213.
- Jaramillo, C., Rueda, M. (2004). Cronología de las Secuencias Terciarias de los Llanos Orientales y el Piedemonte Llanero. Piedecuesta, Santander, Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) - ECOPEPETROL.
- Monroy, Z., Van Erve, A. (1988). Revisión Palinoestratigráfica del cretácico y Terciario de Apure (Venezuela Suroccidental). III Simposio Bolivariano "Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas", Caracas, Venezuela.
- Montes, C., Hatcher, Jr., Restrepo-Pace, P. (2005). Tectonic Reconstruction of the Northern Andean Blocks: Oblique Convergence and Rotations derived from the Kinematics of the Piedras-Girardot Area, Colombia. Tectonophysics, Vol. 399.
- Notestein, F. B., Hubman, C. W., Bowler, J. (1944). Geology of the Barco Concession Republic of Colombia. South America. Bulletin of Geological Society of America, Vol. 55, pp. 1165-1215.
- Ortega, J., Van Erve, A., Monroy, Z. (1987). Formación Guafita: Nueva Unidad Litoestratigráfica del Terciario en el Subsuelo de la Cuenca Barinas-Apure Venezuela Suroccidental. Boletín Sociedad Venezolana de Geólogos, Vol. 31, pp. 9-35.