

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

**ADRIANA PAOLA FLOREZ ARCE
CARLOS ENRIQUE SANTOS DELGADO**

**TRABAJO DE GRADO REALIZADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL
TÍTULO DE GEÓLOGO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

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

**ADRIANA PAOLA FLOREZ ARCE
CARLOS ENRIQUE SANTOS DELGADO**

**TRABAJO DE GRADO REALIZADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL
TÍTULO DE GEÓLOGO**

Directores

**Marco Idelfonso Álvarez Bastos
Universidad Industrial de Santander**

**Carlos Alberto Jaramillo Muñoz
ECOPETROL - Instituto Colombiano del Petróleo**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

A Ana V.

por ser mi polo a tierra y
por mostrarme que las cosas
pueden ser de otro color.

A mi familia

por su apoyo, su colaboración y
su confianza

C. Santos

A mis Padres,

A mi Mami

por ser una mujer fuerte, que nunca se rinde

A mi Papi

por ser todo un “diccionario” de sabiduría

A mis Hermanas,

Andrea por ayudarme en muchos momentos.

Mónica por su confianza en mi y por enseñarme
a ser serena.

A Hernán,

por ser mi maestro y enseñarme a creer en mi.

A. Flórez

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Colombiano del Petróleo por la financiación del proyecto y permitirnos el uso de sus instalaciones, lo que facilitó inmensamente nuestro trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander por ser el lugar que ambientó el espacio para crecer intelectual y humanamente; por enseñarnos a descubrir otros aspectos de nuestra vida.

A las Familias Flórez Arce y Santos Delgado por tantos esfuerzos realizados durante la realización del proyecto y durante toda la carrera, por su inmenso apoyo día a día.

A nuestros directores; Carlos Jaramillo por ser un maestro, por su exigencia y su continuo cuestionamiento, por ser una nueva escuela y enseñarnos a buscar respuestas; Marco I. Álvarez, por su confianza, por evaluar y apoyar nuestros resultados.

A nuestros amigos de la Universidad Industrial de Santander, por tantos momentos agradables, por su sinceridad, colaboración y apoyo; a los Palinomorfos por compartir su experiencia académica.

A todos aquellos que no nombramos, pero que en algún momento nos colaboraron y facilitaron las cosas.

C. Santos y A. Flórez

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo Principal

1.2. Objetivos Específicos

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1. Sedimentación durante el Eoceno más Tardío en el Oriente de Colombia

2.1.1. El Eoceno más Tardío en la Cuenca de los Llanos Orientales

2.1.2. El Eoceno más Tardío en el Sur: Sur del Valle Superior del Magdalena, Cuenca Yarí Caguán y Cuenca del Putumayo

3. PROBLEMA

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Análisis palinológico

4.2. Determinación del Índice de Influencia Marina (IIM)

4.3. Elaboración del Mapa de Distribución de la Influencia Marina

5. RESULTADOS

5.1. Análisis palinológico

5.2. Reconocimiento del Tope de la Zona Palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis*

5.3. Influencia Marina

5.3.1. Influencia Marina en el sector central de los Llanos Orientales.

5.3.2. Influencia Marina en el sector sur: Cuenca Yarí Caguán, Sur del Valle Superior del Magdalena, y Cuenca del Putumayo.

6. DISCUSIÓN

6.1. Marco Bioestratigráfico

6.2. Influencia Marina

6.3. Implicaciones Paleogeográficas

7. CONCLUSIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de Facies para el Eoceno Tardío de Colombia, según Villamil (1999).

Figura 2. Mapa de ambientes depositacionales para el Eoceno Tardío, según Cooper *et al.* (1995)

Figura 3. Nomenclatura Estratigráfica para la Cuenca de los Llanos Orientales, el Sur del Valle Superior del Magdalena (Subcuenca de Neiva) y la Cuenca del Putumayo.

Figura 4. Localización del Área de Estudio y de los pozos analizados en este proyecto.

Figura 5. Tope de la zona palinológica Ca2, *E. trianguliformis* variedad *orbicularis* en cada uno de los pozos analizados.

Figura 6. Distribución de la Influencia Marina registrada en el Tope de la Zona Palinológica Ca2 *E. trianguliformis* variedad *orbicularis*.

Figura 7. Ecoregistro de la Sección Piñalerita

Figura 8. Ecoregistro del pozo Tibú-182K

Figura 9. Ecoregistro de la Sección La Regadera.

Figura 10. Ecoregistro del Pozo Guacavía-1

Figura 11. Ecoregistro del Pozo SA-15

Figura 12. Ecoregistro del Pozo Payara-1.

Figura 13. Ecoregistro del Pozo Gigante-1.

Figura 14. Ecoregistro del Pozo Orito Sur-1.

Figura 15. Distribución geográfica de la Influencia Marina registrada en el Oriente y Suroriente de Colombia durante el Eoceno más Tardío: Hipótesis 1.

Figura 16. Distribución geográfica de la Influencia Marina registrada en el Oriente y Suroriente de Colombia durante el Eoceno más Tardío: Hipótesis 2.

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Resultados del Análisis Palinológico en cada Pozo

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados del Análisis Palinológico

Anexo 2. Correlación esquemática entre los Pozos Analizados

TITULO: INFLUENCIA MARINA EN EL EOCENO MÁS TARDÍO DEL ORIENTE Y SURORIENTE DE COLOMBIA*

Autores: Flórez Arce, Adriana Paola; Santos Delgado, Carlos Enrique **

Palabras Claves: Eoceno mas Tardío; Paleogeografía; Índice de Influencia Marina; Piedemonte Llanero.

Las reconstrucciones paleogeográficas realizadas para el Eoceno más Tardío de Colombia, indican que durante este período, un aumento de la subsidencia permitió que una influencia marina inundara las Cuencas Subandinas. Para determinar la distribución geográfica de este evento se identificó el Tope de la zona palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis* de Jaramillo y Rueda (2004) que se considera el indicador del Eoceno más Tardío así como el marcador del límite Eoceno-Oligoceno en el oriente y suroriente de Colombia; y se empleó un índice denominado Índice de Influencia Marina (IIM), que describe la relación entre palinomorfos marinos (quistes de dinoflagelados y foraminíferos quitinosos) y continentales (polen y esporas). Este índice fue calculado sobre 150 placas provenientes de 8 pozos y 2 secciones ubicados a lo largo del Piedemonte Llanero, Cuenca Yarí – Caguán, Sur del Valle Superior del Magdalena y Cuenca del Putumayo. Dos áreas con influencia marina fueron establecidas: una en el sector Central del Piedemonte Llanero, y otra, al sur, en la Cuenca del Putumayo. El patrón de distribución de los valores de IIM sugiere que en la Cuenca del Putumayo esta influencia pudo provenir de la costa Ecuatoriana; mientras que para el Sector Central del Piedemonte Llanero es probable que esta provenga del Norte.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología
Directores: Carlos Alberto Jaramillo; Marco I. Alvarez

**TITLE: LATE EOCENE MARINE INFLUENCE EAST-SOUTHEAST OF
COLOMBIA***

AUTHORS: Flórez-Arce, Adriana-Paola; Santos-Delgado, Carlos Enrique**

KEYWORDS: Later Eocene; Paleogeography; Marine Influence Index (MII); Llanos Foothills.

The developed paleogeographic recreations for the Upper Eocene of Colombia, show an increase in the subsidence rate which leads to a marked marine influence in subandean basins. In order to establish the geographic extension of the event, we identified the top of Ca2 *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* palynological zone proposed by Jaramillo and Rueda (2004) as the marker of the Later Eocene and the Eocene-Oligocene limit in east and south-east of Colombia; and we used an index, settled as Marine Influence Index (MII) which describes the relationship between marine palynomorphs (Dinoflagellate cysts - microforaminiferal linings) and continental palynomorphs (pollen - spores). The MII was calculated over 150 plates from eight well bores and two outcrops located across the Llanos Foothills, Yarí – Caguán Basin, Southern Upper Magdalena Valley, and Putumayo Basin. Two areas with marine influence were established: the first, in the central part of Llanos Foothill and part of the Llanos basin; and the second in the South of Putumayo basin. The distribution pattern of the MII values suggests a marine influence in the Putumayo basin coming from the Ecuadorian coasts; on the other hand, the central part of the Llanos Foothills probably undergone a marine influence coming from the North.

*Tesis de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Geología, Directores: Carlos Alberto Jaramillo; Marco I. Álvarez

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente se ha considerado que las secuencias sedimentarias depositadas durante el Eoceno Tardío en Colombia son típicamente fluviales (Notestein *et al.*, 1944; Van der Hammen, 1957, 1960; De Porta, 1962). Durante este período las Cuencas Subandinas de Colombia registran un aumento de la subsidencia que está evidenciado en el carácter granodecreciente de estas (Cooper *et al.*, 1995; Etayo *et al.*, 1997; Villamil y Restrepo, 1997). Este evento ocasionó que los ambientes fluviales se hicieran más transicionales (predominantemente deltáicos), e incluso permitió la entrada de esporádicas ingresiones marinas (Villamil y Restrepo, 1997; Villamil, 1999).

Los modelos paleogeográficos elaborados para este intervalo de tiempo indican que una ingresión marina inundó la Cuenca de los Llanos Orientales a través del Lago de Maracaibo (Cooper *et al.*, 1995; Pindell *et al.*, 1997; Etayo *et al.*, 1997; Villamil y Restrepo, 1997; Fajardo *et al.*, 2000). Sin embargo, información reciente obtenida a partir de corazones y de registros de pozos (Fajardo *et al.*, 2000, Osorio *et al.*, 2000), sugiere que durante el Eoceno más Tardío tuvo lugar una ingresión marina en el suroccidente del país (sur de la cuenca de los Llanos Orientales, extremo sur del Valle Superior del Magdalena y Cuenca del Putumayo), cuya entrada podría haber ocurrido por la costa ecuatoriana, localizada al sur de esta región (Osorio *et al.*, 2000).

Durante el Eoceno Tardío, en la Cuenca de los Llanos Orientales y el Piedemonte Llanero, se acumuló el tope de la Formación Mirador, que está representado por areniscas alternadas con niveles de shales negros (Fajardo *et al.*, 2000), y la base de la Formación Carbonera, caracterizada por una serie de lodolitas grises (Cooper *et al.*, 1995; Villamil, 1999; Fajardo *et al.*, 2000). En la Cuenca del Putumayo y en el extremo sur del Valle Superior del Magdalena, el Eoceno más Tardío está registrado en la base de la Formación Orteguzza, constituida por una serie de arcillas y lodolitas de color gris y verde oliva (BEICIP-ECOPETROL, 1988; INTERNATIONAL, W.A., 1995; Rivadeneira y Baby, 1999; Osorio *et al.*, 2000).

Este trabajo pretende establecer la paleogeografía de esta probable ingesión o influencia marina mediante el uso de un Índice de Influencia Marina basado en información palinológica. Para ello se analizaron 150 placas distribuidas en 8 pozos (Tibú-182K, La María-1, Buenos Aires-3, Guacavía-1, SA-15, Payara-1, Gigante-1 y Orito Sur-1), y se empleó información palinológica existente de los pozos Gibraltar-1 y Tibú-182K y de las secciones La Regadera y Piñalerita.

Esta reconstrucción paleogeográfica puede ayudar a entender los patrones de sedimentación y las rutas de migración de los sistemas fluviales, que son importantes en la búsqueda de objetivos exploratorios en la industria del petróleo en Colombia.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Determinar la distribución geográfica de una probable ingesión o Influencia Marina registrada en el Eoceno más Tardío (Tope de la zona palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis*) del Oriente y Suroriente de Colombia (Cuenca de los Llanos Orientales, Yarí-Caguán, Valle Superior del Magdalena (subcuenca de Neiva), y Cuenca del Putumayo).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Ubicar el tope de la zona palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis* en 7 pozos de la zona.
- Determinar el Índice de Influencia Marina (IIM) utilizando datos palinológicos, para el tope de la zona palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis* de cada pozo.
- Elaborar un mapa de la distribución geográfica de la Influencia Marina usando el valor del Índice de influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al tope de la zona palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis* de cada pozo.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

El Eoceno Tardío a escala global, está caracterizado por una serie de eventos de calentamiento y enfriamiento (Zachos *et al.*, 2004) que precedieron el EOGM (Máximo Glacial del Oligoceno más temprano), el cual marca el inicio de condiciones glaciales permanentes en la Antártida. Estas condiciones son coincidentes con la regresión registrada en la Curva de Haq y Vail (1988), y que indica un descenso eustático global.

En Colombia, la sedimentación estuvo influenciada por dos eventos tectónicos de importancia regional: la pre-Orogenia Andina, en el Eoceno Medio; y el aumento en la subsidencia, durante el Eoceno Tardío.

La preOrogenia Andina, producida por un cambio en la dirección y en la tasa de subducción de la placa del Caribe (Cooper *et al.*, 1995; Pindell *et al.*, 1997), aceleró el levantamiento de la Cordillera Central, afectando el Occidente de Colombia de forma más abrupta que el Oriente (George *et al.*, 1997; Villamil, 1999). Este evento, que ocasionó una disminución en el espacio de acomodación, interrumpió la sedimentación y expuso a la erosión las secuencias predepositas, se registra en una inconformidad regional reconocida en toda Colombia (Hubach, 1957; Van der Hammen, 1958; De porta, 1962; Cooper *et al.*, 1995; Cazier *et al.*, 1995; George *et al.*, 1997; Pindell *et al.*, 1997; Villamil y Restrepo, 1997; Fajardo *et al.*, 1998, 2000; Villamil, 1999).

La reanudación de la sedimentación en el Eoceno Tardío fue ocasionada por un aumento de la subsidencia (Cooper *et al.*, 1995; Villamil, 1999), generado por una reducción de cerca del 50% de la convergencia entre las placas de Suramérica y la del Caribe (Pindell *et al.*, 1997).

2.1. SEDIMENTACIÓN DURANTE EL EOCENO MÁS TARDÍO EN EL ORIENTE DE COLOMBIA

El Eoceno más 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 este taxa. Este

evento se considera como el marcador del Límite Eoceno-Oligoceno, tanto en la Cuenca de los Llanos Orientales, la Cuenca del Catatumbo, y la Cuenca Yari-Caguán (Jaramillo y Rueda, 2004), como en el sur del Valle Superior del Magdalena y Cuenca del Putumayo (Osorio *et al.*, 2000).

Durante este período se considera que la Cuenca de los Llanos Orientales, El Valle del Magdalena y la Cuenca Yari-Caguán conformaban una extensa cuenca de antepaís cuyo eje depositacional estaba ubicado a lo largo del actual Piedemonte Llanero, y se extendía hacia el norte, hasta el lago de Maracaibo (Cooper *et al.*, 1995; Villamil y Restrepo, 1997; Villamil, 1999).

Sedimentos derivados de la Cordillera Central y del Escudo de la Guyana se depositaron haciendo onlap hacia el oriente, occidente y sur del eje depositacional (Cooper *et al.*, 1995; Villamil y Restrepo, 1997; Villamil, 1999) (Figura 1 y 2). Esta secuencia se ha considerado predominantemente fluvial (Hubach, 1957; Van der Hammen, 1958; De Porta, 1962). Sin embargo autores como Cazier *et al.* (1995), Cooper *et al.* (1995), Reyes *et al.* (1997), Villamil (1999), proponen un ambiente fluvial hacia la base, y transicional para el tope.

2.1.1. El Eoceno más Tardío en la Cuenca de los Llanos Orientales

El tope de la zona palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* (Indicador del Eoceno más Tardío), ha sido reconocido en la Cuenca de los Llanos Orientales en el tope de la Fm. Mirador y la base de la Fm. Carbonera. (Jaramillo y Rueda, 2004).

La Formación Mirador está limitada en su base por la inconformidad regional del Eoceno Medio, y en su tope se encuentra en contacto transicional con la suprayacente Formación Carbonera (Figura 3). 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, 1958; De Porta, 1962; De porta, 1974). En ella, se han distinguido dos miembros separados por un nivel de lodolitas y shales de espesor

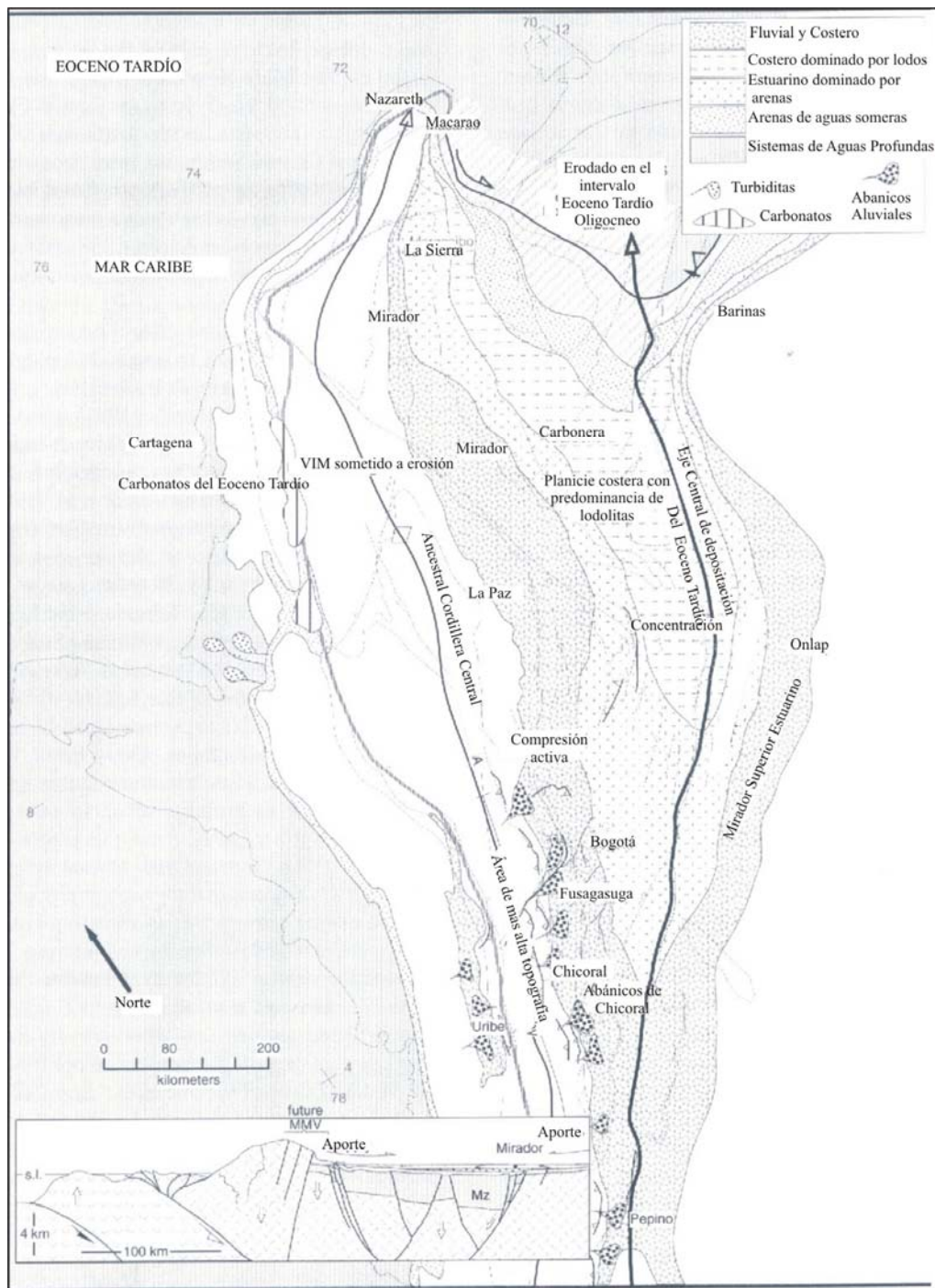


FIGURA 1. Distribución de Facies para el Eoceno Tardío en Colombia, según Villamil (1999). Un incremento en el espacio de acomodación permitió la depositación de facies con evidente influencia marina sobre vastas regiones de Colombia incluyendo la porción más Sur de los Llanos Orientales.

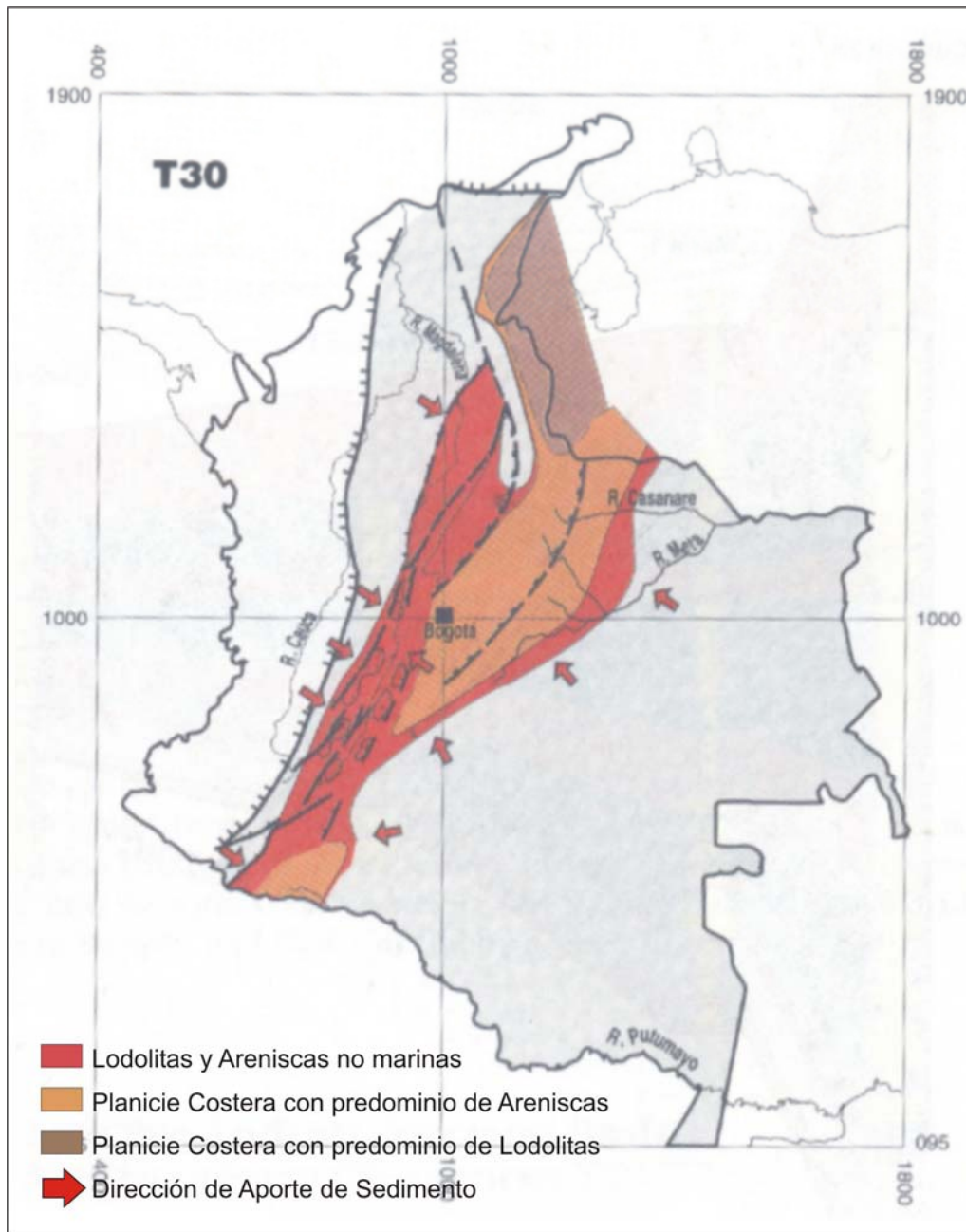


FIGURA 2. Mapa de ambientes depositacionales para el Eoceno Tardío, según Cooper et al. (1995). Muestra la distribución de facies asociada a un TST (Transgressive System Tract). El mapa indica una ingresión marina en la Cuenca de los Llanos Orientales a través del Lago de Maracaibo, y otra en la Cuenca del Putumayo, a través de la Cuenca de Oriente en el Ecuador.

variable y considerable extensión subregional (Notestein *et al.*, 1944; Van der Hammen, 1958; Cazier *et al.*, 1995; Cooper *et al.*, 1995): 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). Estos niveles lodosos, que desaparecen hacia el Este dando lugar a facies más arenosas (Fajardo *et al.*, 2000), son reportados en la subcuenca Apiay-Ariari, (Munar, 1991), en el Campo Cusiana-Cupiagua (Cazier *et al.*, 1995, 1997; Higgs, 1997; Fajardo *et al.*, 1998; Fajardo *et al.*, 2000), en la Macarena y el Piedemonte Llanero, en secciones aflorantes de las formaciones Areniscas del Limbo y San Fernando (correlacionables con la formación Mirador y Carbonera respectivamente (Paba y Van der Hammen, 1958; Van der Hammen, 1958)), y en pozos localizados en el sector suroccidental de la cuenca (Fajardo *et al.*, 2000).

Notestein *et al.* (1944), considera que la depositación de la Formación Mirador ocurrió en un ambiente predominantemente fluvial. Esta idea es corroborada para la base de la formación (Fajardo *et al.*, 1998, 2000), pero debido a que el Mirador se depositó durante un aumento de la relación A/S (Espacio de acomodación Versus Suministro de Sedimentos) (Cooper, 1995; Villamil y Restrepo, 1997; Fajardo *et al.*, 1998, 2000; Villamil, 1999), estos ambientes, hacia el tope, pasaron a ser más transicionales con una probable influencia marina.

La base del Mirador corresponde a depósitos de ríos trenzados, ríos meandriformes, y planicies deltáicas (Villamil, 1999). Autores como Cazier *et al.* (1995) y Cooper *et al.* (1995) ya reconocen cierta influencia marina, proponiendo para ella un ambiente de valles fluviales y estuarinos que incidieron dentro de una planicie costera agradante.

El ambiente de depositación del tope de la formación ha sido objeto de discusión, la cual ha estado centrada en la naturaleza marina transicional o continental de los niveles lodolíticos reportados (Cazier *et al.*, 1997; Higgs, 1997).

Munar (1991) propone un ambiente transicional de planicie deltáica para estos niveles en el sector de la subcuenca Apiay-Ariari; en el área Cusiana-Cupiagua, Fajardo *et al.* (2000) los interpretan como depósitos de canales, de “bay head” deltas y relleno de estuarios o bahías. Cazier *et al.* (1995, 1997) basados en asociaciones esporopolínicas (que reflejan una vegetación costera de tierras bajas), 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 el área del Piedemonte llanero y en la Sierra de la Macarena, se interpretan las arcillolitas de las Areniscas del Limbo como depositadas en ambientes deltáicos (Fajardo *et al.*, 2000).

Por su parte, 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. Higgs soporta esta observación en dos hechos: el primero, que de haberse presentado una influencia marina, esta debió ser más marcada en la región de Apure (Venezuela) y en la Concesión Barco (al norte de la Cuenca de los Llanos Orientales) pero que la ausencia de fósiles marinos en esta área, reportada por Notestein *et al.* (1944), evidencia condiciones no marinas; el segundo, que de haberse presentado un mar epicontinental en esta área, este tendría una longitud de aproximadamente 500 Km, distancia extremadamente grande para una planicie costera moderna, ya que actualmente, estas tienen una longitud máxima de aproximadamente 100 Km.

La edad de la Formación Mirador ha estado sujeta a discusión desde su definición. Notestein *et al.* (1944) teniendo en cuenta su posición estratigráfica le asignó una edad de Eoceno Medio a probablemente Superior. En estudios posteriores, Van der Hammen (1958) le asigna una edad Eoceno Temprano a la base y de Eoceno Medio al tope. González (1967) en un estudio posterior, reafirma la edad asignada por Van der Hammen. Germeraad *et al.* (1968) le asignan una edad Eoceno Tardío. Un estudio de bioestratigrafía de alta resolución en corazones del campo Cusiana asigna al intervalo superior de la Formación Mirador una edad Eoceno tardío (Fajardo *et al.*, 2000).

La Formación Carbonera, suprayace transicionalmente a la Formación Mirador (Figura 3), y está constituida por una serie de intercalaciones de arcillas, lodolitas y areniscas en las que se han identificado cinco ciclos estratigráficos. Esta formación registra un período de subsidencia tectónica en el país que permitió el ingreso de cuerpos de agua que cubrieron vastas áreas en la cuenca de los Llanos (Cooper *et al.*, 1995; Pindell *et al.*, 1997; Etayo *et al.*, 1997; Villamil, 1999). 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), durante parte del Eoceno Tardío y parte del Oligoceno. (Fajardo *et al.*, 2000). El resto de la sucesión se depositó tanto en ambientes continentales como transicionales.

La edad de la Formación Carbonera varía de Eoceno Tardío - Oligoceno Temprano, intervalo en el que se depositó el primer ciclo estratigráfico, a Mioceno Temprano, con la depositación del último ciclo (Fajardo *et al.*, 1998, 2000).

2.1.2 El Eoceno más Tardío en el Sur: Valle Superior del Magdalena, Cuenca Yarí Caguán y Cuenca del Putumayo

El sector sur del área de interés está constituido por la Cuenca Yarí – Caguán, la Cuenca del Putumayo y el extremo sur del Valle Superior del Magdalena (Sur de la subcuenca de Neiva).

La Cuenca del Putumayo, corresponde a la continuación norte de la Cuenca de Oriente de Ecuador. Su extremo noroccidental parece haber tenido una historia común con el extremo sur del Valle Superior del Magdalena, Subcuenca de Neiva (BEICIP, 1988; INTERNATIONAL W.A., 1995; Osorio *et al.*, 2000; Mora *et al.*, 2000). Por esta razón, en el presente trabajo se usa la nomenclatura estratigráfica propuesta por Osorio *et al.* (2000) para esta área de Colombia (Figura 3).

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	NOMENCLATURAS ESTRATIGRAFICAS			
				CUENCA PUTUMAYO (Osorio et al, 2000)	VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA PARTE SUR DE LA SUBCUENCA DE NEIVA (Osorio et al, 2000)	CUENCA LLANOS (Fajardo et al, 2000)	
CENOZOICO	Q	Pleistoceno					
		Plioceno	Tardío			Fm. Guayabo	
			Temprano				
		Mioceno	Tardío	Grupo Ospina	Miembro Garzón Miembro los Altares Miembro Neiva	Fm. Gigante	
			Medio		Miembro Villavieja Miembro La Dorada	Fm. Honda	Fm. Leon
		Oligoceno	Temprano	Grupo Orito-Belén			
			Tardío	Fm. Orteguaza	Fm. Orteguaza	Fm. Carbonera	
Eoceno	Priaboniano		Fm. Pepino Sup. Fm. Pepino Med. Fm. Pepino Inf.	Fm. Doima Fm. Potrerillos Fm. Chicoral	Grupo Gualanday	Fm. Mirador	
	Tardío		Fm. Rumiyo Sup. Fm. Rumiyo Inf.	Fm. Teruel	Grupo Guaduala	Fm. Barco-Los Cuervos	
MESOZOICO	CRETACEO	Tardío	Maastrichtiano		Fm. San Francisco		
			Campaniano	Arenas N	Fm. Monserrate		Fm. Guadalupe
			Santoniano				Fm. Gachetá
			Coniaciano				Fm. Une
			Turoniano				
Cenomaniano	Albiano						
	Aptiano						
MESOZOICO	TRIASICO						
	JURASICO						
PALEOZOICO	CAMBRICO						
	DEVONICO					PALEOZOICO NO DIFERENCIADO	
PRECAMBRIICO							

FIGURA 3. Nomenclatura Estratigráfica para la Cuenca de los Llanos Orientales, el Sur del Valle Superior del Magdalena (Subcuenca de Neiva) y la Cuenca del Putumayo.

En esta área, el Eoceno más Tardío, indicado también por el tope de la zona palinológica Ca2 (última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis*) (Osorio et al., 2000), está registrado en la base de la Formación Orteguaza (miembro Inferior del Grupo Orito) en la Cuenca del

Putumayo y el Valle Superior del Magdalena; y en la Formación Mirador en el sur de la Macarena y el norte de la Cuenca Yará – Caguán (Figura 3).

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. Hacia el sur, en la cuenca de Oriente en el Ecuador, está constituida por lutitas grises y verdosas bastante fisiles con nódulos piríticos (Rivadeneira *et al.*, 1997; Rivadeneira y Baby, 1999).

Las arcillolitas basales son interpretadas como el “Máximo Flooding Surface” del Eoceno Tardío, exhibiendo valores muy altos en registros Gamma Ray de los pozos Putumayo-1 y Mary-1 de la Cuenca del Putumayo; y Gigante-1 de la Subcuenca de Neiva, extremo sur del Valle Superior del Magdalena (Osorio *et al.*, 2000).

Tanto en la Cuenca del Putumayo como en la Cuenca de Oriente, se ha interpretado que esta formación se depositó en un ambiente de plataforma marina interna (zona infratidal) (BEICIP, 1988; INTERNATIONAL, W.A., 1995; Rivadeneira *et al.*, 1997; Rivadeneira y Baby, 1999; Osorio *et al.*, 2000).

En la Cuenca Yará-Caguán, los sedimentos del Eoceno más Tardío suprayacen la inconformidad del Eoceno Medio, e infrayacen transicionalmente a las formaciones Carbonera (al norte, en la Cuenca de los Llanos Orientales) y Arrayán (en la cuenca Yará-Caguán), ambas de edad Oligoceno. Hacia el Este, están constituidos por areniscas cuarzosas provenientes del Escudo de Guyana, y hacia el oeste, la presencia de fragmentos líticos, en una mayor proporción que en el Este, evidencia un mayor aporte de sedimentos de la Cordillera Central. Estos sedimentos están asociados a depósitos de canales fluviales en el Este; y a abanicos aluviales en el Oeste. (Reyes *et al.*, 1997). Al igual que en los Llanos Orientales, facies típicamente fluviales, en la base, dan paso a ambientes lacustres y de llanura de inundación hacia el tope.

En el sector central de la cuenca, el Eoceno Tardío alcanza su mayor espesor, específicamente entre los pozos Payara-1 y Losada-1 (Reyes *et al.*, 1997). Se adelgaza hacia el este, hasta desaparecer al noreste de la Macarena

(donde es reportado un cero erosivo); y hacia el sur y el sureste bordeando el Paleosalto de Florencia, donde se encuentran en onlap sobre el basamento. En el sur de la Cuenca, al NE de los pozos Aeropuerto-1, La Turbia-1, y Montañita-1, un cero depositacional es registrado. (Reyes *et al.*, 1997).

3. PROBLEMA

Diversos modelos paleogeográficos han sido propuestos para el Eoceno Tardío de Colombia. Los modelos elaborados por Cooper *et al.* (1995), Cazier *et al.* (1997) y Villamil (1999) indican que una ingresión marina tuvo lugar a través del Golfo de Maracaibo (al nororiente del país) inundando parcialmente el oriente de Colombia (actualmente, Piedemonte llanero y occidente de la cuenca de los Llanos Orientales)(Figuras 1 y 2).

Información obtenida a partir de registros de pozos, análisis de corazones y datos palinológicos en el Sur de los Llanos Orientales, Cuenca Yarí Caguán, Cuenca del Putumayo, y el Sur del Valle Superior del Magdalena, parece evidenciar cierta influencia marina proveniente del sur, de la Costa Ecuatoriana (Osorio *et al.*, 2000).

Este trabajo pretende determinar cuál es el modelo paleogeográfico correcto para la inundación o influencia marina del Eoceno más Tardío en el Oriente y Suroriente de Colombia.

4. MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se encuentra ubicada al Oriente y Suroriente de Colombia, y comprende las cuencas de los Llanos Orientales, Yarí-Caguán, la porción más sur del Valle Superior del Magdalena (Subcuenca de Neiva) y la Cuenca del Putumayo (Figura 4).

Sobre ella, se seleccionaron 7 pozos: La María-1, Buenos Aires-3, Guacavía-1 y SA-15, localizados en la Cuenca de los Llanos Orientales; Payara-1, en la Cuenca Yarí-Caguán; Gigante-1, en el Valle Superior del Magdalena (Subcuenca de Neiva); y Orito Sur-1, en la Cuenca del Putumayo (Figura 4). Estos pozos fueron escogidos tanto por su posición geográfica (se encuentran distribuidos en un tren de dirección SW-NE, que se considera paralelo a la probable distribución del evento de interés) como por el reporte en informes palinológicos previos de sedimentos del Eoceno más Tardío.

En cada uno de ellos, con el fin de establecer la última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis* que marca el tope de la Zona Palinológica Ca2 (Jaramillo y Rueda, 2004) y es indicador del Eoceno más Tardío, se tomaron muestras por encima y por debajo de la última aparición de este taxa reportada en informes previos. En los pozos en donde se continuó observando la presencia de este taxa, el muestreo se extendió hasta que este estuvo ausente.

Las muestras fueron tomadas de zanja seca y con ellas se prepararon placas palinológicas en el Laboratorio de Preparación de Muestras Geológicas del **Instituto Colombiano de Petróleo (ICP)**, usando la técnica estándar de sumergir la muestra en ácido Clorhídrico y ácido Fluorhídrico para la remoción de carbonatos y silicatos, separar la materia orgánica empleando líquidos pesados, para finalmente someterla a oxidación. (Traverse, 1988).

La información obtenida fue complementada con información bioestratigráfica preexistente de los pozos Gibraltar-1 y Tibú -182K (Jaramillo y Rueda, 2004) y de las secciones La Regadera y Piñalerita (Jaramillo y Dilcher, 2001), cuya posición resulta estratégica al estar ubicado en el extremo Norte del

área de interés. (Figura 4). En Tibú-182K, las placas en donde influencia marina es reportada por Jaramillo y Rueda (2004) fueron analizadas nuevamente.

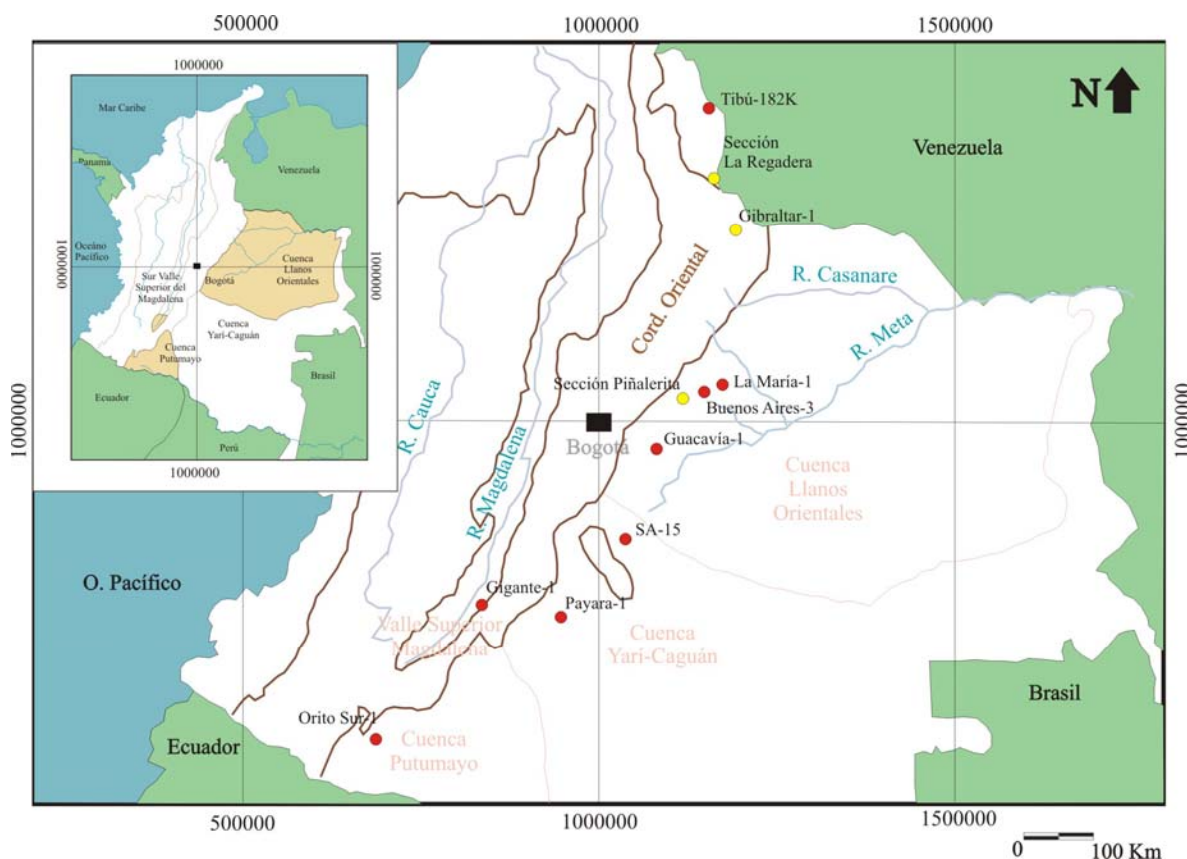


FIGURA 4. Localización del Área de Estudio y de los pozos analizados en este proyecto. Los puntos rojos señalan la localización de los pozos muestreados y los amarillos, corresponden a los pozos y secciones con información bioestratigráfica preexistente.

4.1 Análisis palinológico

El análisis palinológico se realizó en el Laboratorio de Micropaleontología del ICP. Para ello se usaron microscopios Zeiss ICS KF2, con objetivos de 40X/0.65, empleado para realizar el barrido general de la placa, y de 100X/1.25, usado cuando los granos analizados estaban mal preservados o presentaban complejidad morfológica.

En cada placa palinológica se realizó un conteo mínimo de 300 granos con el fin de estandarizar los datos (Buzas y Hayek, 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 cutoff o conteo mínimo de 169 palinomorfos por placa, 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**” (<http://www.surveysystem.com/sscalc.htm>), que permite establecer el tamaño mínimo que debe tener una muestra para que la información que se obtenga de ella, tenga un nivel de confianza y un intervalo de confianza específicos. El tamaño de la muestra fue calculado usando la fórmula $ss = [(Z^2 * (p) * (1-p)) / (c^2)]$; siendo ss el tamaño de la muestra; Z , el valor Z , equivalente a 1.96 para un nivel de confianza del 95%; p , es 0.5; c , el intervalo de confianza expresado como decimal, en este caso equivalente a 0.5 (Intervalo de +/- 5%). Sin embargo, resultó necesario hacer una corrección adicional debido a que la población analizada correspondía a una población finita, para lo cual se usó la fórmula $nuevo\ SS = [ss / (1 + (ss - 1 / POB))]$; donde $nuevo\ SS$, corresponde al tamaño final de la muestra; ss , es el tamaño de la muestra sin corrección; y POB , corresponde al tamaño de la población, equivalente a 300 (<http://www.surveysystem.com/sscalc.htm>).

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.

4.2 Determinación del índice de Influencia Marina (IIM)

El índice de Influencia Marina (IIM) es definido como la frecuencia relativa de palinomorfos marinos. Al igual que otros índices, tales como el Índice de Salinidad (Rull, 2002), el Índice de Límite Mareal (TLI) (Rull, 1997) o el Índice Paleovegetacional (Rull, 1992), 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). Este comportamiento está asociado con las oscilaciones del nivel del mar: cuando existe una mayor influencia marina, la abundancia de los palinomorfos marinos es mayor, mientras la abundancia de los continentales es mínima; a medida que se produce un descenso del nivel del mar, la abundancia de los palinomorfos marinos disminuye, mientras que la de los palinomorfos continentales comienza a aumentar.

El Índice de Influencia Marina (IIM) se calculó usando la fórmula $IIM = M/T$; donde IIM es el índice de Influencia Marina; M , es la suma de palinomorfos marinos; y T , es la suma total de granos (tanto marinos como continentales) en la placa. De esta forma el IIM estará oscilando entre 0, cuando la muestra sea totalmente continental, y 1, cuando sea totalmente marina.

El IIM puede ser utilizado en la elaboración de ecoregistros, curvas construidas en profundidad o en tiempo usando datos paleoecológicos, en las cuales pueden identificarse cambios en el nivel relativo del mar, límites de secuencias estratigráficas (Sequences boundaries) y superficies de inundación (Maximum Flooding Surfaces) (Rull, 1992, 1997, 2000, 2002). Este índice fue calculado para cada placa y se usó para construir el ecoregistro en el intervalo analizado en cada pozo.

4.3 Elaboración del Mapa de Influencia Marina

Para la elaboración del Mapa de Influencia Marina se utilizó el software Surfer (Win 32) Versión 6.02. Este mapa fue construido usando el valor del Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más próximo al tope de la zona palinológica *Ca2 Echetriporites trianguliformis* variedad *orbicularis* de cada pozo. Los valores fueron ploteados sobre un mapa, y entre estos puntos se realizó una interpolación usando el Método de Kriging.

5. RESULTADOS

5.1 Análisis Palinológico

Un total de 150 placas fueron analizadas (Tabla 1). El recobro de palinomorfos fue muy variable y cada pozo presentó características diferentes.

POZO	CUENCA	No. de placas analizadas	Intervalo Analizado	Profundidad Tope zona Palinológica Ca2 (Pies)	Profundidad Máximo Valor Índice de Influencia Marina (IIM) (Pies)	Máximo Valor del Índice de Influencia Marina (IIM)
Tibú-182K*	Catatumbo	26	1989-2660	1592 (Jaramillo y Rueda, 2004)	1989	0.009
Sección La Regadera*	Catatumbo	-----	-----	956.03 (Jaramillo y Dilcher, 2001)	956.03	0
Gibraltar-1*	Catatumbo	-----	-----	5990 (Jaramillo y Rueda, 2004)	5990	0.020
La María-1	Llanos Orientales	9	15440-15580	Indeterminada	-----	-----
Sección Piñalerita*	Llanos Orientales	-----	-----	1009 (Jaramillo y Dilcher, 2001)	813	0.199
Buenos Aires - 3	Llanos Orientales	11	14870-15180	Indeterminada	-----	-----
Guacavía-1	Llanos Orientales	25	12430-12930	12605	12915	0.035
SA-15	Llanos Orientales	10	5210-5570	5385	5385	0.041
Payara-1	Yarí-Caguán	15	2660-3500	2750	2810	0.035
Gigante-1	Valle Superior del Magdalena (Subcuenca de Neiva)	27	6000-7380	7005	7035	0.017
Orito Sur-1	Putumayo	27	3500-4090	3685	3685	0.097
TOTAL ANALIZADAS	PLACAS	150				

TABLA 1. Resultados del Análisis Palinológico en cada Pozo. (*) Pozos y Secciones con información bioestratigráfica preexistente.

En los pozos SA-15, La María-1, Payara-1, Orito Sur-1 y Tibú-182K el recobro fue bueno. En los pozos Gigante-1 y Guacavía-1 el recobro fue moderado,

e incluso, en varias placas no fue posible llevar el conteo hasta los 300 granos (Anexo 1).

En Buenos Aires-3, el recobro fue muy pobre, y en ninguna de las placas analizadas se alcanzó el conteo mínimo (Anexo 1).

5.2 Reconocimiento del Tope de la Zona Palinológica Ca2 *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis*

El tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* indicador del Eoceno más Tardío (Jaramillo y Rueda, 2004), fue identificado en los pozos Guacavía-1, SA-15, Payara-1, Gigante-1 y Orito Sur-1 (Figura 5).

En los pozos La María-1 y Buenos Aires-3, no se encontró el taxa *E. trianguliformis* variedad *orbicularis* en ninguna de las placas analizadas.

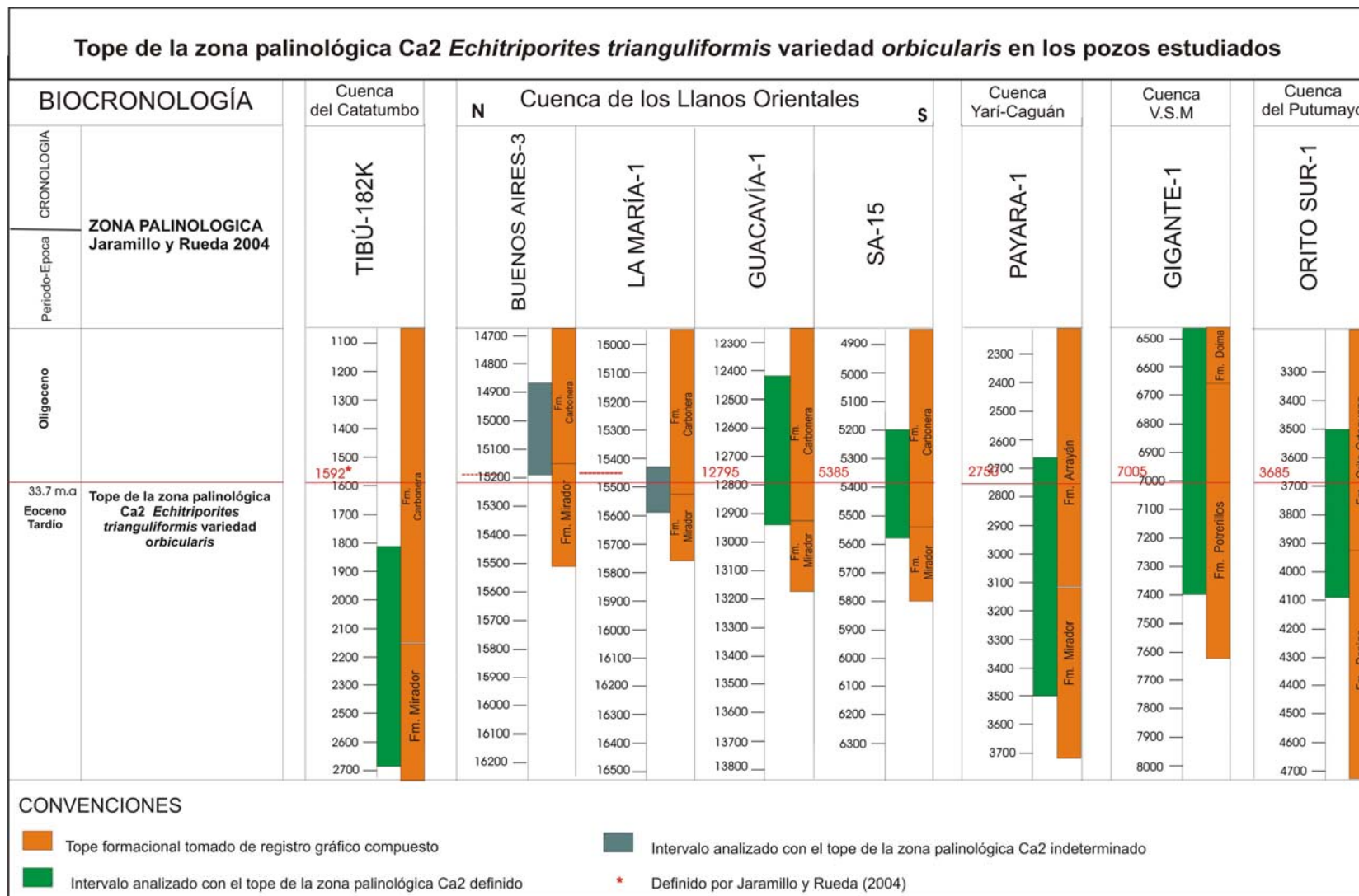
5.3 Distribución de la Influencia Marina

Los valores del IIM más altos y más cercanos al tope de la zona palinológica Ca2 de cada pozo están oscilando entre 0 y 0.2. La distribución de estos valores sugiere dos áreas con influencia marina: la primera, localizada al Norte de la Serranía de la Macarena, en el sector central del Piedemonte Llanero; y la segunda, menos notoria, hacia el Sur del área de estudio, en el Norte de la Cuenca del Putumayo (Figura 6).

5.3.1 Influencia Marina en el sector central del Piedemonte Llanero

Dentro del rango de los valores analizados, esta área se caracteriza por presentar los valores más altos en el Índice de Influencia Marina (IIM) (0.10 - 0.19). Sin embargo, tanto hacia el sur como hacia el norte se observa una disminución en los valores de este (Figura 6).

FIGURA 5. Tope de la zona palinológica Ca2, *E. trianguliformis* variedad *orbicularis* en cada uno de los pozos analizados.



Hacia el norte, los valores en el IIM disminuyen, pasando de 0.19 en la Sección La Piñalerita, a 0.021 en Gibraltar-1, 0 en la Sección La Regadera, y 0.009 en Tibú-182K (Figura 6). Hacia el sur, al igual que en el norte, los valores del IIM son bajos: 0.035 en Guacavía-1 y 0.041 en SA-15 (Figura 6).

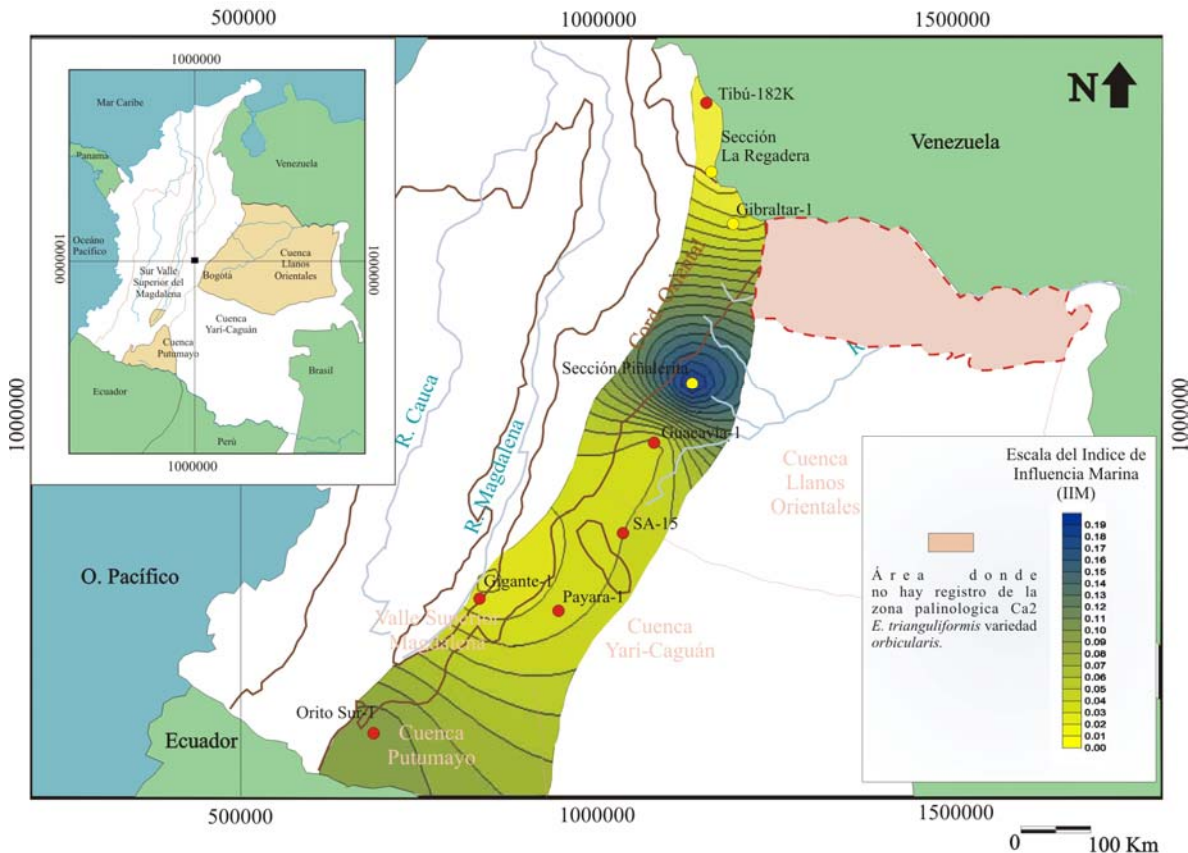


Figura 6. Distribución de la Influencia Marina registrada en el Tope de la Zona Palinológica Ca2 *E. trianguliformis* variedad *orbicularis*. Dos áreas con influencia marina son registradas: una en el sector Central de los Llanos Orientales y otra en la Cuenca del Putumayo.

El valor más alto obtenido en el IIM para este sector, fue establecido en la sección Piñalerita, donde el índice varía entre 0 (entre los 900 y 1000 pies, en el tope de la sección) y 0.347 (a 602 pies, en el miembro medio de la Formación Areniscas del Limbo correlacionable con la Fm. Mirador). El índice más alto y más cercano al tope de la zona palinológica Ca2 (a 1009.8 pies, Jaramillo y Dilcher,

2001), equivale a 0.199, y está ubicado a 813.3 pies dentro de esta sección (Jaramillo y Dilcher, 2001) (Figura 7)(Anexo 2).

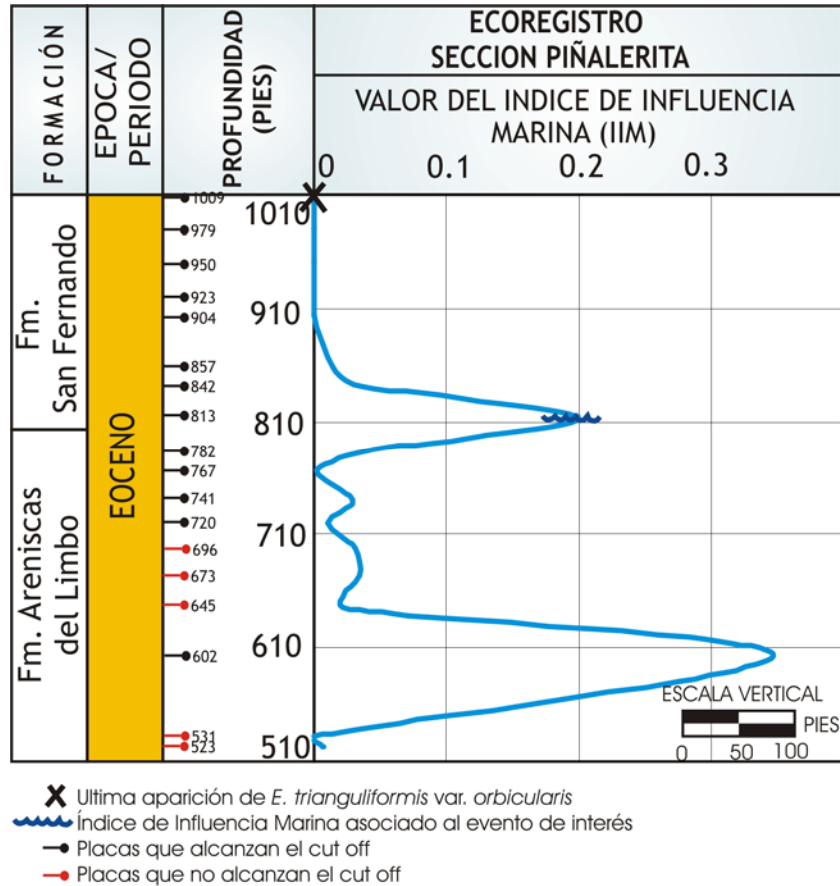
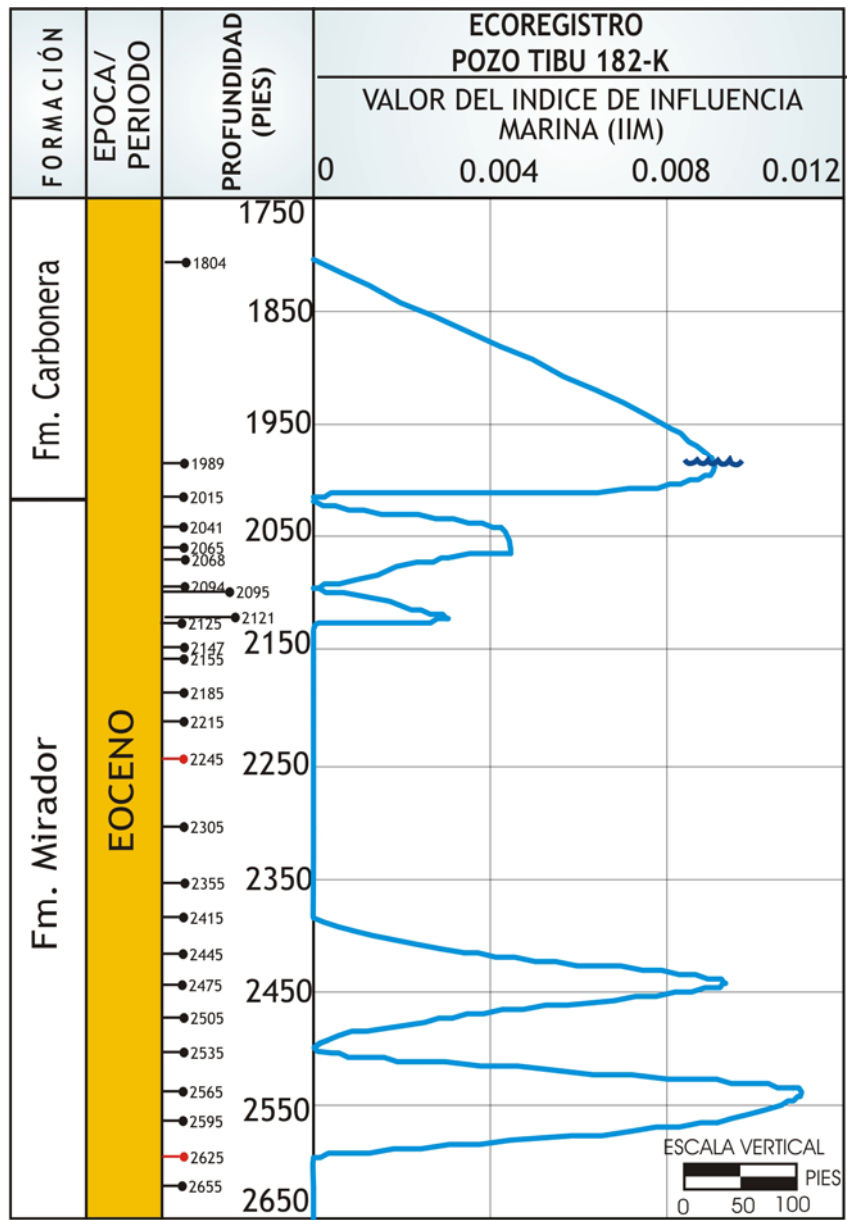


FIGURA 7. Ecoregistro para la Sección Piñalerita. Los espesores estratigráficos así como los topes formacionales fueron establecidos por Jaramillo y Dilcher (2001). El pico más pronunciado (a 602 pies) podría estar registrando la influencia marina reportada por Cazier et al. (1995) en el Middle Shale de la Fm Mirador (correlacionable con la Fm. Areniscas del Limbo).

En Tibú-182K, los valores en el Índice de Influencia Marina (IIM) oscilan entre 0 (en el intervalo comprendido entre 2125-2385 pies) y 0.011 (a 2565 pies, en el miembro medio de la Formación Mirador) (Figura 8)(Anexo 2). El máximo valor del IIM más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2, localizado a 1592 pies (Jaramillo y Rueda, 2004), es igual a 0.009 y se encuentra a 1989 pies.



- ✕ Última aparición de *E. trianguliformis* var. *orbicularis*
- ~ Índice de Influencia Marina asociado al evento de interés
- Placas que alcanzan el cut off
- Placas que no alcanzan el cut off

FIGURA 8. Ecoregistro del Pozo Tibú-182K. En este pozo la última aparición del *E. trianguliformis* var. *orbicularis* fue determinada por Jaramillo y Rueda (2004) a 1592 pies.

En la sección La Regadera, el Índice de Influencia Marina (IIM) varía entre 0.055 a 326.44 pies, en el miembro medio de la Formación Mirador, y 0, en placas localizadas en el tope de la sección. El tope de la zona palinológica Ca2 establecido por Jaramillo y Dilcher (2001) está localizado a 956.036 pies, siendo el IIM de interés igual a 0 (Figura 9)(Anexo 2).

En Gibraltar-1, Jaramillo y Rueda (2004) establecieron que el tope de la zona palinológica Ca2 está localizado a 5590', y es en esta placa donde se presenta una mayor frecuencia de palinomorfos marinos, con un IIM asociado de 0.021 (Anexo 2).

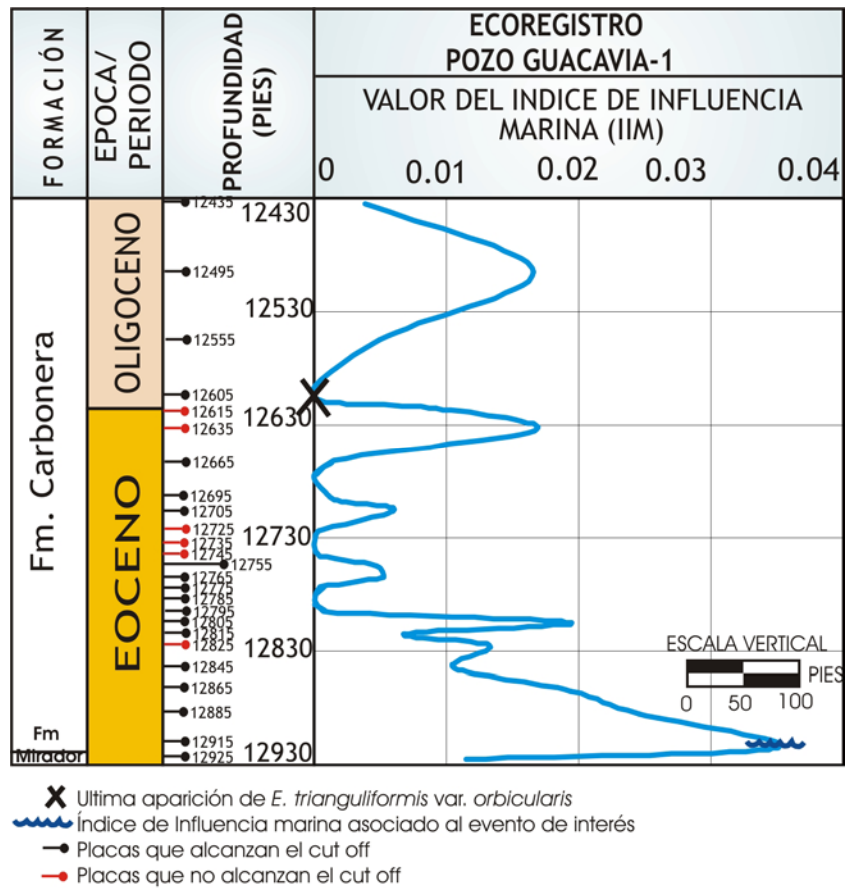


FIGURA 10. Ecoregistro del Pozo Guacavía-1.

En el pozo Guacavía-1, los valores del Índice de Influencia Marina (IIM) oscilan entre 0 (en los intervalos comprendidos entre 12660-12700 pies, 12720-12750 pies, y 12770-12800 pies) y 0.035 a 12915 pies. Este último valor es el mayor IIM más cercano al tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* (a 12605 pies) (Figura 10)(Anexo 2).

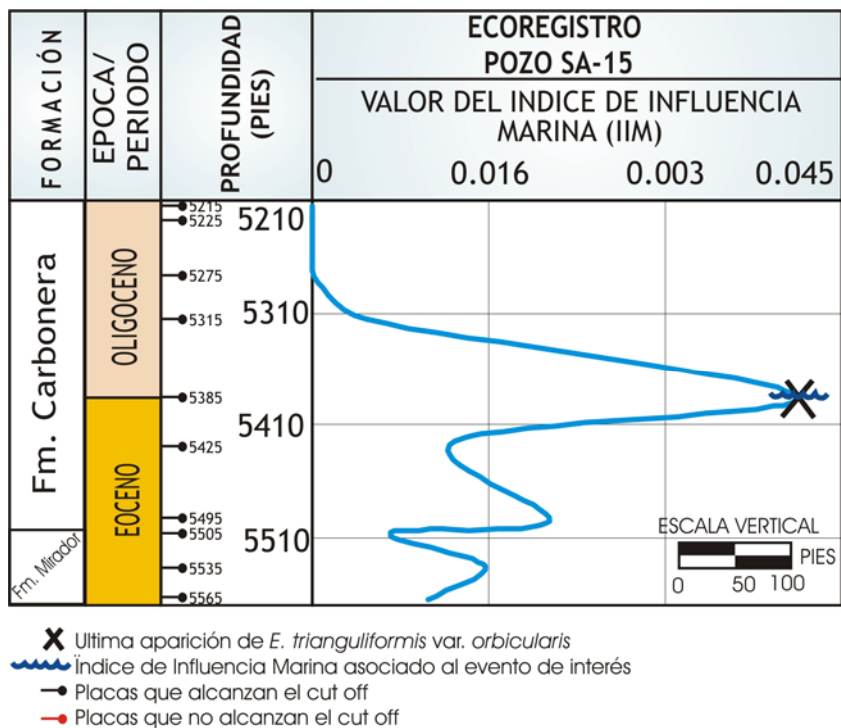


FIGURA 11. Ecoregistro del Pozo SA-15.

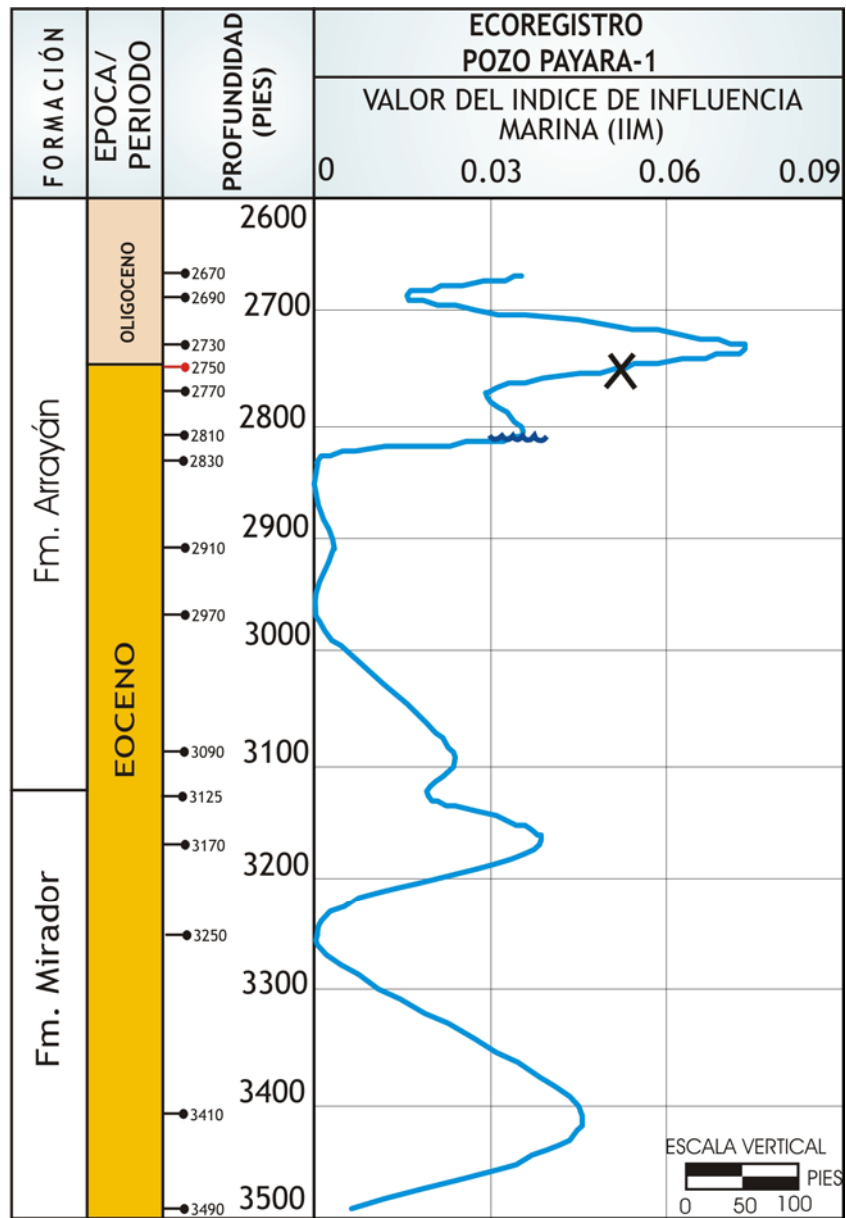
En el pozo SA-15, el valor del Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la Zona Palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* (a 5385 pies) equivale a 0.041 y está localizado a 5385 pies. Los valores en el IIM están oscilando entre 0 (en el intervalo entre 5210 – 5280 pies, correspondiente al tope de la sección analizada) y 0.041 (Figura 11)(Anexo 2).

5.3.2 Influencia Marina en el sector Sur: Cuenca del Putumayo, Cuenca Yará - Caguán y Sur del Valle Superior del Magdalena

Este sector se caracteriza por presentar un aumento gradual en los valores del Índice de Influencia Marina (IIM) hacia el suroeste (Figura 6). El valor más alto del IIM (0.097) se observa en el pozo Orito Sur-1, localizado en la cuenca del Putumayo. Tanto en Gigante-1 (0.017) como en Payara-1 (0.035), el índice obtenido es bajo con relación al obtenido en Orito Sur-1.

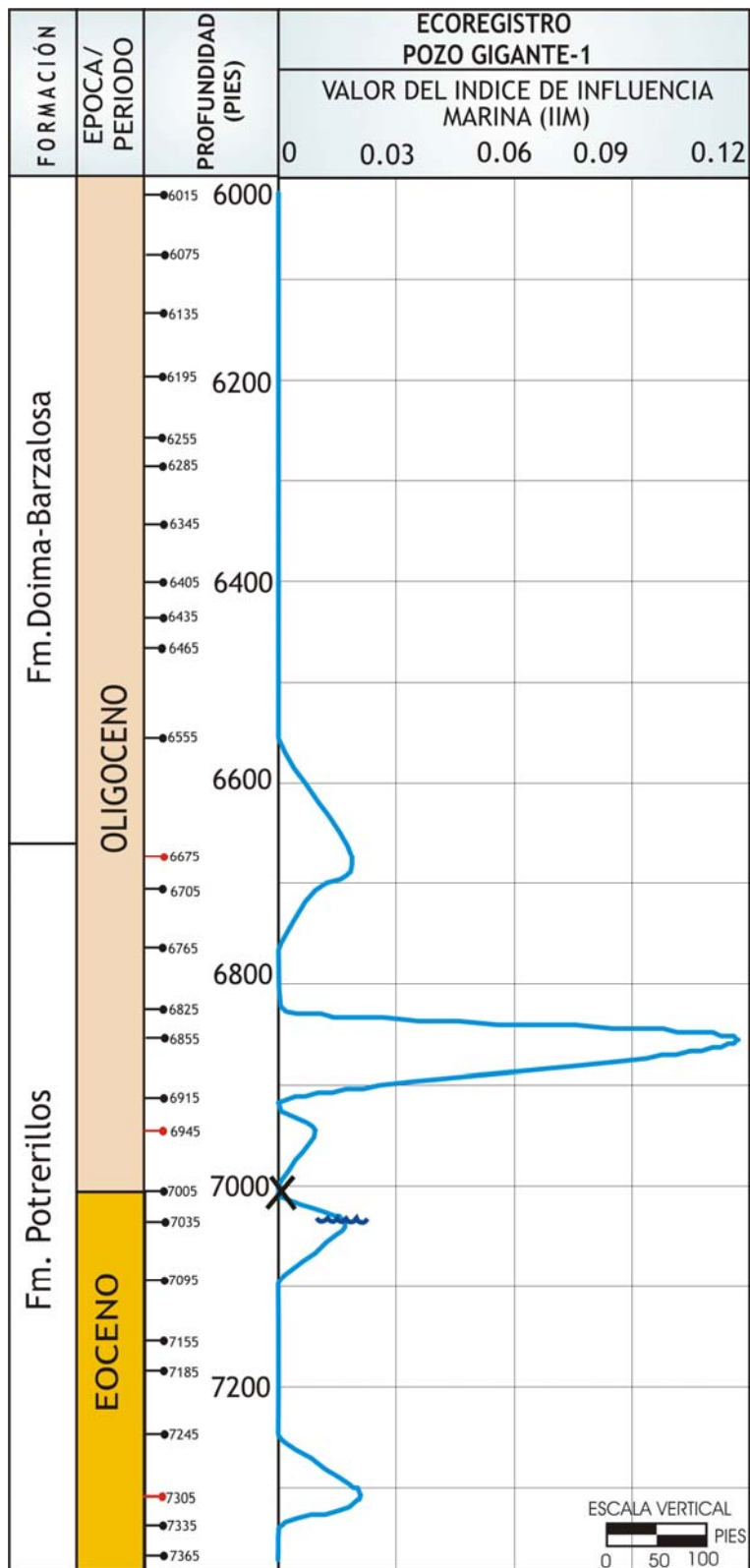
En Payara-1, los valores del Índice de Influencia Marina (IIM) están oscilando entre 0 (obtenido a 2830, 2970 y 3250 pies) y 0.072 (a 2730 pies, por encima del tope de la zona palinológica Ca2). El valor de IIM más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2, (ubicado a 2750 pies) equivale a 0.035, y está localizado a 2810 pies (Figura 12)(Anexo 2).

En Gigante-1, el valor del Índice de Influencia marina (IIM) más alto más cercano al tope de la zona palinológica Ca2, localizada a 7005 pies, se encuentra a 7035 pies y equivale a 0.017. En este pozo los valores en el IIM varían entre 0, en placas localizadas entre 6000 – 6570, 7080 - 7260 y 7320 – 7380 pies, y 0.117 a 6855', arriba del Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* (Figura 13)(Anexo 2).



- X** Última aparición de *E. trianguliformis* var. *orbicularis*
- Índice de Influencia Marina asociado al evento de interés
- Placas que alcanzan el cut off
- Placas que no alcanzan el cut off

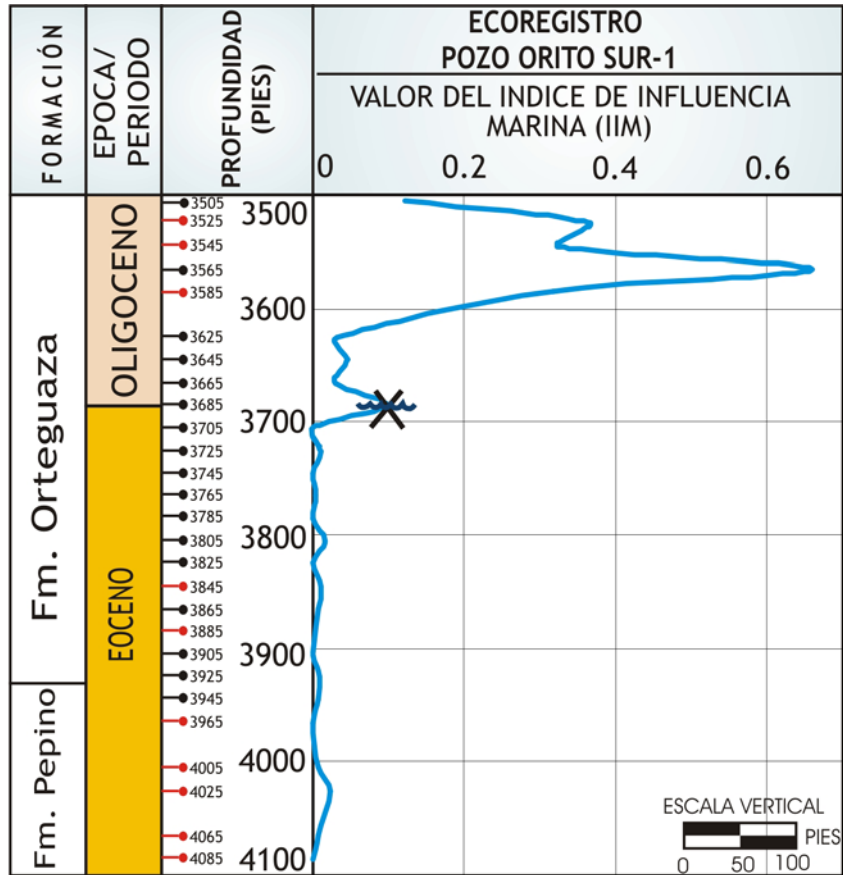
FIGURA 12. Ecoregistro del Pozo Payara-1. Nótese que aún cuando a 2750', (donde se registra la última aparición del *E. trianguliformis* var. *orbicularis*) el valor de IIM es más alto (aproximadamente 0.05) esta placa no alcanza el cutoff establecido.



- X** Última aparición de *E. trianguliformis* var. *orbicularis*
- Índice de Influencia Marina asociado al evento de interés
- Placas que alcanzan el cut off
- Placas que no alcanzan el cut off

FIGURA 13. Ecoregistro del Pozo Gigante-1. El pico más alto encima de la extinción del *E. trianguliformis* var. *orbicularis*, podría estar registrando la ingresión marina reportada por Osorio *et al.* (2000) para el Sur del Valle Superior del Magdalena y la Cuenca del Putumayo.

En Orito Sur-1, el Índice de Influencia Marina (IIM) oscila entre 0 a 3705, 3825, 3885, 3905, y 3965 pies, y 0.659 a 3565 pies (arriba del Tope de la zona palinológica Ca2). El valor de IIM más alto y más cercano al tope de la zona palinológica Ca2 (localizado a 3685 pies) equivale a 0.097 y se encuentra a esta misma profundidad (Figura 14)(Anexo 2).



- X** Última aparición de *E. trianguliformis* var. *orbicularis*
- Índice de Influencia Marina asociado al evento de interés
- Placas que alcanzan el cut off
- Placas que no alcanzan el cut off

FIGURA 14. Ecoregistro del Pozo Orito Sur-1. El pico más marcado, arriba de la extinción del *E. trianguliformis* var. *orbicularis*, podría estar registrando la ingresión marina reportada por Osorio *et al.* (2000) para el Putumayo y el Sur del VSM.

6. DISCUSIÓN

6.1 MARCO BIESTRATIGRÁFICO

El requisito fundamental para realizar una reconstrucción paleogeográfica, o establecer la distribución geográfica de un evento en un intervalo de tiempo específico, es contar con un marco bioestratigráfico confiable.

El Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* variedad *orbicularis* indicador del Eoceno más Tardío y usado como datum en este estudio fue establecido en 5 de los 7 de los pozos analizados. En el caso de La María-1 y Buenos Aires-3 esto no fue posible.

En el pozo Buenos Aires-3, en el intervalo analizado comprendido entre 14870 – 15180 pies, el *E. trianguliformis* var. *orbicularis* no fue encontrado. La ausencia de este taxa en las placas analizadas puede deberse a que el recobro en este pozo fue muy pobre (Anexo 1). Igualmente en La María-1, la ausencia de este taxa no permitió reconocer el tope de la zona palinológica Ca2 dentro del intervalo estratigráfico estudiado. Debido a esto, la información derivada del análisis palinológico de ambos pozos, no fue tomada en cuenta en este estudio.

6.2 INFLUENCIA MARINA

La naturaleza marina transicional o continental de los sedimentos del Eoceno más Tardío de Colombia ha estado en discusión (Cazier *et al.*, 1995, 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 el sector central del Piedemonte Llanero y en el Sur, en la Cuenca del Putumayo (Figuras 6). Esta influencia marina no estaría registrada en el Norte, en la Cuenca del Catatumbo, ni en el Sur de los Llanos Orientales y la Cuenca Yará – Caguán.

El área Norte, localizada en la Cuenca del Catatumbo, presenta valores muy bajos en el Índice de Influencia Marina (IIM) (aproximadamente entre 0 – 0.02). En los pozos Tibú-182K y Gibraltar-1, y en la Sección La Regadera, la

presencia de quistes de dinoflagelados y foraminíferos es insignificante (por cada 100 palinomorfos reconocidos, solo 2 tendrían afinidad marina)(Anexo 1). Esto estaría sugiriendo que en este sector la Influencia Marina es nula (Figuras 6 y 15). Esta región, en muestras tomadas de la sección La Regadera, es interpretada por Jaramillo (1999) como la zona inferior de una planicie costera.

En el sector central del Piedemonte Llanero y los Llanos Orientales, los valores del Índice de Influencia Marina (IIM), que oscilan entre 0.1 y 0.2 aproximadamente, sugieren un área con influencia marina (Figura 6). En este sector, el IIM fue calculado usando información bioestratigráfica de la sección Piñalerita (Jaramillo y Dilcher, 2001), donde (según los datos reportados para el Tope de la zona palinológica Ca2, *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis*) el alto contenido de dinoflagelados y foraminíferos permitió reconocer un “Maximum Flooding Surface” (Jaramillo, 1999). Jaramillo (1999) propone para esta área un ambiente conformado por lagos en una llanura de inundación costera. Este sector, incluye el área de Cusiana, donde Cazier *et al.* (1995, 1997) reconocen una influencia marina al tope de la Formación Mirador (Eoceno más Tardío), 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 icnogeneros *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 tener un tamaño reducido en relación con sus equivalentes marinos. Esta asociación, que se destaca por la ausencia de icnogeneros exclusivamente marinos, según Pemberton *et al.* (1992) y 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 y la Cuenca Yará - Caguán, la Influencia marina es nula (Figura 6). En los pozos Guacavía-1, SA-15 y Payara-1, la ocurrencia de palinomorfos marinos es bastante

menor que en el área central de los Llanos Orientales. Los IIM 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 no estuvo influenciada por condiciones marinas. Reyes *et al.* (1997) basados en asociaciones esporopolínicas en muestras de los pozos Payara-1 y SA-15, 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 Índice de Influencia Marina aumenta hacia el suroeste (Figura 6). En Gigante-1 (Sur del Valle Superior del Magdalena), el contenido de dinoflagelados y foraminíferos es casi nulo (el IIM es 0.02, es decir, por cada 100 palinomorfos reconocidos solo dos serían marinos); mientras en Orito Sur-1, más hacia el Sur, en la Cuenca del Putumayo, la presencia de estos palinomorfos es ligeramente mas alta (El IIM es 0.1 aproximadamente, indicando que de cada 100 palinomorfos, 10 tendrían afinidad marina). La distribución de los valores del IIM, 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.

6.3. IMPLICACIONES PALEOGEOGRÁFICAS

Los cambios relativos del nivel del mar en un área específica dependen tanto de factores globales (cambios eustáticos asociados a cambios en el volumen de agua en el océano) como locales (tectónica y sedimentación de la cuenca) (Walker *et al.*, 1992).

El régimen regresivo global que caracteriza el Eoceno Tardío contrasta notoriamente con las esporádicas intrusiones e influencias marinas que se reportan en las Cuencas Colombianas (Cazier *et al.*, 1995, 1997; Cooper *et al.*, 1995; Villamil, 1999). Zachos *et al.* (2001, 2004) establecen, basados en las variaciones de $\delta^{18}\text{O}$, que durante el Eoceno Medio a Tardío se presentó una disminución en la temperatura de las aguas oceánicas profundas, así como un incremento en el volumen de hielo en la Antártida. Esta pérdida del volumen de

agua en los océanos se correlaciona con la caída del nivel del mar del Eoceno Tardío (Haq *et al.*, 1988; Abreu y Anderson, 1998).

En oposición al contexto global, la información palinológica derivada de este estudio muestra que durante el Eoceno más Tardío (Tope de la zona palinológica Ca2, *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis*) una influencia marina tuvo lugar en el sector central del Piedemonte Llanero (donde se encuentra registrada en los niveles lodolíticos del Tope de la Formación Mirador y en la base de la Formación Carbonera) y en la Cuenca del Putumayo (registrada en la base de la Formación Orteguzza); 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 la Influencia Marina, sugiere que diversos elementos positivos como el Arco de Arauca (en el Norte de los Llanos Orientales) y el Paleotallo de Florencia (en el Sur de los Llanos Orientales y el Norte de la Cuenca del Putumayo) ejercieron un control tanto en la distribución de este evento, como en la sedimentación. Esto es sugerido por los cerros depositacionales reportados por Fajardo *et al.* (1998, 2000) (a lo largo del borde del Escudo de Guyana), por Reyes *et al.* (1997) (en el Sur de los Llanos Orientales, la Cuenca Yari-Caguán, y el Norte de la Cuenca del Putumayo), 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*, indicador del Eoceno Tardío. 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 Norte de los Llanos Orientales y el Occidente 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 los pozos Gibraltar-1 y Tibú-182K, en el Catatumbo (Jaramillo y Rueda, 2004). Aún cuando en este sector se preservan sedimentos de esta edad, los valores del Índice de Influencia Marina (IIM) (que oscilan entre 0 – 0.02 aproximadamente), sugieren que esta área no estuvo sometida a influencia marina, hecho que podría indicar que esta área 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 Norte, 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 (sector de la Sierra de la Macarena) y en la cuenca Yarí - Caguán los valores del Índice de Influencia Marina (IIM) (que varían aproximadamente entre 0 – 0.03) sugieren que en esta área la sedimentación no estuvo bajo influencia marina (Figuras 6, 15 y 16). Adicionalmente y debido a que los sedimentos de esta edad se encuentran en onlap hacia el Oriente, y se adelgazan hacia el suroriente (hacia el sector de Chiribiquete) (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 Influencia Marina que se registra en el Sector Central del Piedemonte Llanero, podría estar registrada en la margen Oriental de la Cordillera Oriental, en las formaciones Usme, en el área de Bogotá, y Concentración, en el área de Sogamoso. Estas formaciones son correlacionadas entre sí y con el tope de la Formación Mirador por Van der Hammen (1958).

La Formación Usme, constituida por arcillolitas y areniscas con intercalaciones lodosas (Hubach, 1957; De Porta, 1962), y datada por Van Der Hammen (1958) y Hoorn *et al.* (1987) como Eoceno Tardío - Oligoceno Medio, podría estar registrando la última ingresión marina en la Cordillera Oriental de Colombia (Hubach, 1957). Hoorn (1987), basada en información palinológica, reconoce una transición de ambientes salobres en la base del miembro superior del Usme, a ambientes continentales hacia el tope de este. Esta transición estaría

reflejada en el cambio vegetacional que se presenta en este miembro, donde hacia la base se presenta una asociación típica de una zona costera, y hacia el tope, una asociación típica de un bosque tropical (Hoorn, 1987).

La Formación Concentración está constituida hacia la base por areniscas de grano medio alternadas con lodolitas; por arcillolitas y lodolitas en la parte media; y por areniscas potentes, alternadas con lodolitas hacia el tope, ha sido datada por Van der Hammen (1957) como Eoceno medio, en la base y como Eoceno Tardío - Oligoceno Inferior en su parte media. Análisis palinológicos realizados por BP en el sector de Sogamoso le asignaron una edad Eoceno Tardío (Cazier *et al.*, 1997), y las asociaciones de quistes de dinoflagelados reconocidas, permitieron establecer un ambiente litoral o marino marginal para la depositación de esta formación (Cazier *et al.*, 1997). Sin embargo, en los análisis realizados por Van der Hammen (1957) en las formaciones Usme y Concentración, y en los mencionados por Cazier *et al.* (1997) para la Formación Concentración, no se reporta específicamente la presencia del *E. trianguliformis* var. *orbicularis*. Solo Hoorn (1987) establece la presencia de este taxa en la parte basal del miembro Superior del Usme. Una revisión de la palinología de estas formaciones se hace necesaria para tener certeza de que en ellas se encuentra registrado el Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis*, indicador del Eoceno más Tardío.

Aún cuando los resultados obtenidos en este trabajo sugieren una influencia marina en el sector central del Piedemonte Llanero y probablemente en la margen Oriental de la Cordillera Oriental, su proveniencia no es clara, por lo que se plantean dos hipótesis que podrían explicarla. La primera de ellas, sugeriría que esta Influencia marina podría provenir del Lago de Maracaibo. Esta hipótesis considera que la Cordillera Central y la Sierra Nevada de Santa Marta constituían un área topográficamente más alta en el Occidente de Colombia (Villamil, 1999) que impedía cualquier avance del mar hacia el Oriente. La ausencia de sedimentos del Eoceno más Tardío en el sector de Arauca (Jaramillo y Rueda, 2004) y el Suroccidente de la Cuenca Barinas en Venezuela (Ortega *et al.*, 1987;

Boesi *et al.*, 1988; Monroy y Van Erve, 1988; Cabrera, 1995), la presencia de sedimentos de esta edad sin influencia marina en el Catatumbo, y el reporte de sedimentos con influencia salobre en los Andes de Mérida y la Cuenca de Maracaibo (Gonzalez *et al.*, 1985; Boesi *et al.*, 1988) sugieren que este evento pudo abrirse paso a través de una estrecha faja localizada al Occidente de la Cuenca del Catatumbo (Figura 15).

La hipótesis alterna, considerando un modelo dinámico para el NW de Suramérica propuesto por Montes *et al.* (2005), permitiría plantear que esta Influencia Marina pudo provenir del Noroccidente de la Costa Caribe de Colombia (Figura 16). 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 16a). 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 al Suroccidente de su posición actual (Figura 16), 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 (Figura 16b).

En la Cuenca del Putumayo, los sedimentos del Eoceno más Tardío se encuentran en onlap sobre el Paleocalto de Florencia (Reyes *et al.*, 1997). Los Valores del Índice de Influencia Marina (IIM) (que aumentan hacia el Suroccidente, pasando de 0.03 a 0.1) sugieren que la Influencia Marina provino del Sur, invadiendo el territorio en un sentido Sur – Norte (Figuras 15 y 16). Osorio *et al.* (2000) reconocen en la base de la Formación Orteguzza, un “Maximum Flooding Surface”, 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 (Figura 13 y 14). Este evento se ve registrado en Orito Sur-1, donde antes de la extinción de *E. trianguliformis* var. *orbicularis* se marca la inundación de interés en este trabajo, y por encima de este, se observa el evento transgresivo reportado por Osorio *et al.* (2000) (Figura 14).

En el Sur, en la Cuenca de Oriente en el Ecuador, una ingresión marina es registrada desde el Eoceno Medio hasta el Oligoceno Temprano (Rivadeneira *et al.*, 1997; Rivadeneira y Baby, 1999). Durante este intervalo de tiempo, tuvo lugar la depositación de la Formación Orteguaza, constituida por una serie de areniscas grises y verdosas y por lodolitas negras a grises, con presencia de nódulos piríticos que indican un ambiente reductor de plataforma marina interna. Al igual que en las cuencas de Colombia, esta ingresión, está asociada a un aumento en la Subsistencia (Rivadeneira y Baby, 1999). Aún cuando Rivadeneira *et al.* (1997) y Rivadeneira y Baby (1999) no mencionan específicamente la herramienta bioestratigráfica empleada para la datación y la interpretación ambiental de la Formación Orteguaza 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 fósiles que evidencian un ambiente de plataforma marina somera (Rivadeneira *et al.*, 1997; 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 (BEICIP, 1988; Cooper *et al.*, 1995; INTERNATIONAL, W.A., 1995; Villamil y Restrepo, 1997; Osorio *et al.*, 2000; Mora *et al.*, 2000). Es entonces 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 (Figura 15).

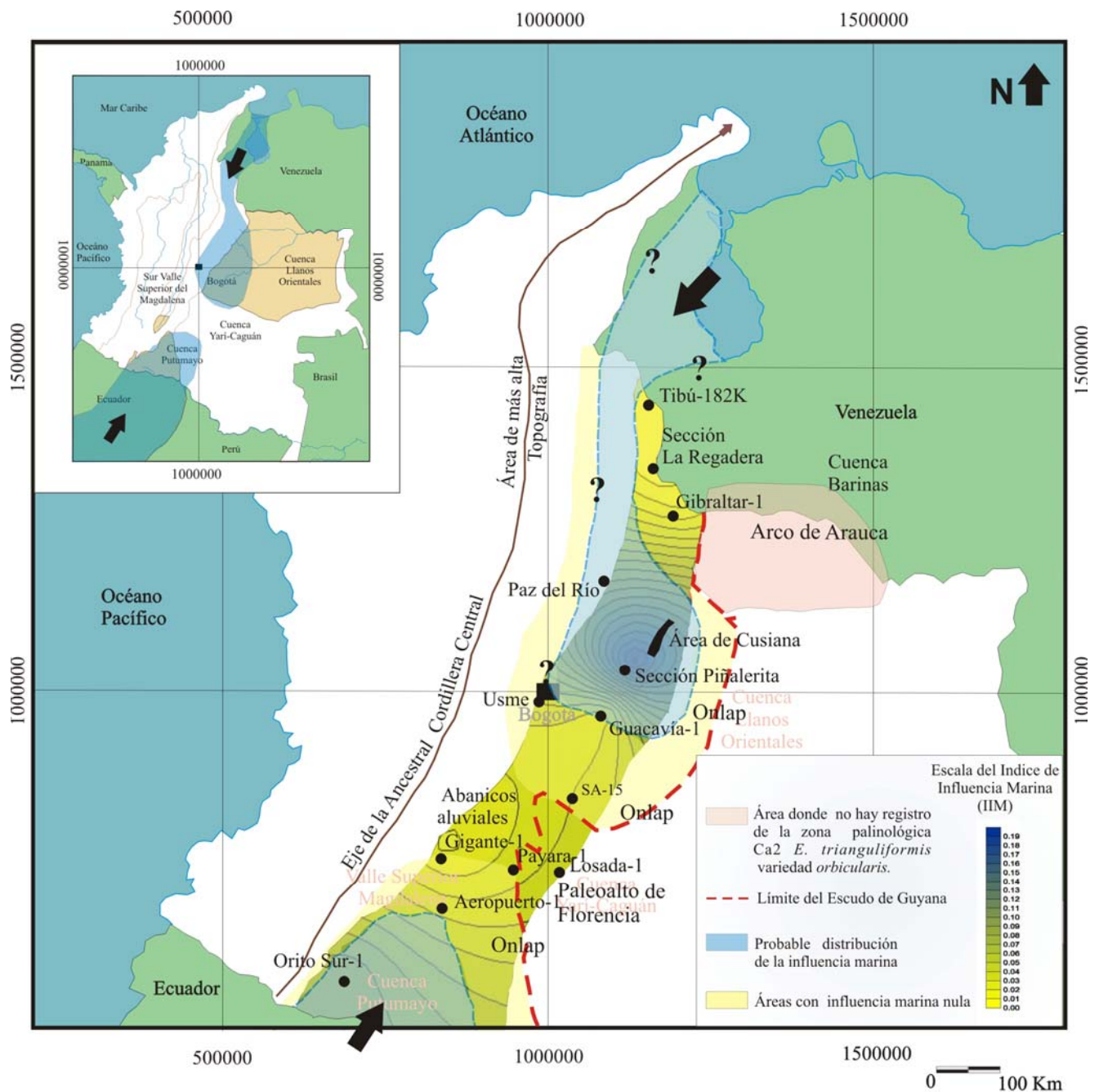


FIGURA 15. Distribución geográfica de la Influencia Marina registrada en el Oriente y Suroriente de Colombia en el Eoceno más Tardío: Hipótesis 1. (Basado en Shagam *et al.*, 1984; Dengo y Covey, 1993; Cooper *et al.*, 1995; Cazier *et al.*, 1997; Villamil y Restrepo, 1997; Fajardo *et al.*, 1998; Reyes *et al.*, 1997; Villamil, 1999; Fajardo *et al.*, 2000). Esta hipótesis considera que durante este intervalo de tiempo la antigua Cordillera Central y la Sierra nevada de Santa Marta conformaban un área topográficamente más alta, que actuó como una barrera que impidió el avance de ingresiones marinas por el Occidente de Colombia. Al Oriente, las salientes del Escudo de Guyana estuvieron controlando tanto la distribución de este evento como la sedimentación. La influencia marina registrada en el sector Central del Piedemonte Llanero pudo provenir del Lago de Maracaibo, y estaría distribuida a lo largo de una faja de dirección N-NE; mientras la Influencia marina que se registra en la Cuenca del Putumayo podría provenir del Sur (Costa Ecuatoriana).

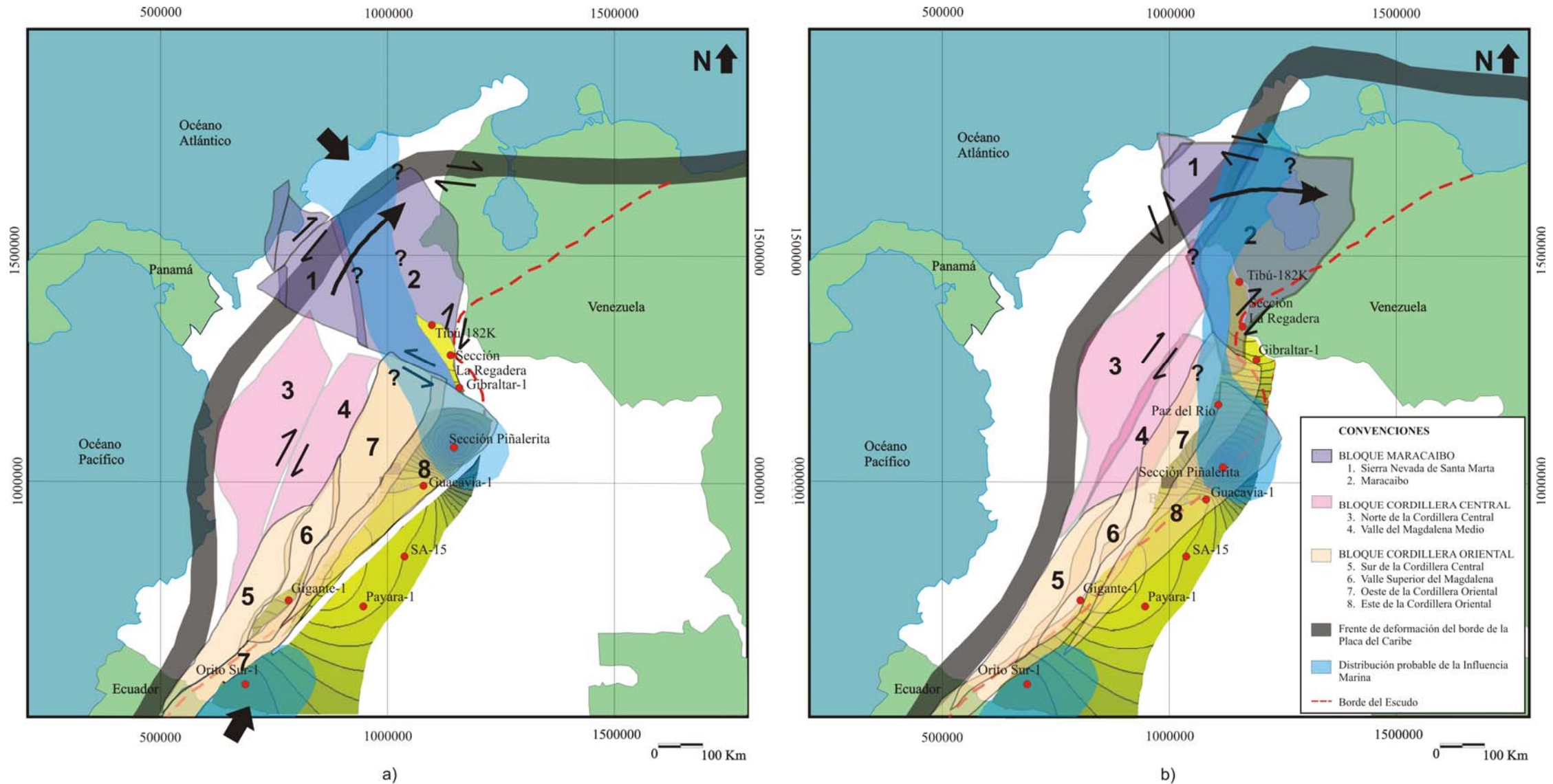


FIGURA 16. Distribución geográfica de la Influencia Marina registrada en el Oriente y Suroriente de Colombia en el Eoceno más Tardío: Hipótesis 2. (Basado en Montes et al. 2005). Esta hipótesis basada en el Modelo Tectónico propuesto por Montes *et al.* (2005) para el NW de Suramérica, considera que la Influencia Marina del 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.

7. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que en sedimentos del Eoceno más Tardío (Tope de la zona palinológica Ca2, *Echitriporites trianguliformis* variedad *orbicularis*) una influencia marina se registra en 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 Yarí-Caguán, y el Sur del Valle Superior del Magdalena esta influencia marina es nula.

Los valores del Índice de Influencia Marina (IIM) asociados con este evento, sugieren que su distribución geográfica estuvo fuertemente controlada por las salientes del Escudo de Guyana (Arco de Arauca y Paleoalto de Florencia). En la Cuenca del Putumayo, el aumento en los valores del IIM hacia el Suroccidente, sugiere que esta Influencia Marina pudo provenir del Sur, de la Costa Ecuatoriana. Respecto a la proveniencia de la Influencia Marina registrada en el Sector Central del Piedemonte Llanero no hay claridad, aunque parece probable que esta haya provenido del Norte, ya sea a través de la Cuenca de Maracaibo o del Noroccidente, de la Costa Caribe de Colombia.

REFERENCIAS

Abreu, V., Anderson, J. (1998). "Glacial Eustasy During the Cenozoic: Sequence Stratigraphic Implications." AAPG Bulletin 82 No. 7: 1385 – 1400.

BEICIP-ECOPETROL (1988). Evaluación regional geológica y geofísica de la Cuenca del Putumayo -informe-. Bogotá-Colombia.

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.

Buzas, M. A., Hayek, L.C. (1997). Surveying Natural Populations. New York, Columbia University Press.

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: 1332-1335.

Cazier, E. C., Hayward, A. C., Espinosa, G., Velandia, J., Mugniot, J-E, y Leel, W. G. (1995). "Petroleum Geology of the Cusiana Field, Llanos Basin Foothills, Colombia." AAPG Bulletin 79 No. 10: 1444-1463.

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 Taborda, A. (1995). "Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Eastern

Cordillera and Middle Magdalena Valley, Colombia." AAPG Bulletin 79 No.10: 1421-1443.

De Porta, J. (1962). "Consideraciones sobre el estado actual de la Estratigrafía del Terciario en Colombia." Boletín de Geología 9: 5-43.

De Porta, J. (1974). Léxico Estratigráfico Internacional. Colombia, Terciario y Cuaternario.

Dengo, C. A., and Covey, M. C (1993). "Structure of the eastern Cordillera of Colombia: implications for trap styles and regional tectonics." AAPG Bulletin 77: 1315-1337.

Etayo, F., Cediell F., Cáceres C. (1997). Distribución de facies Sedimentarias y su marco tectónico durante el Fanerozoico de Colombia. VI Simposio Bolivariano "Exploración Petrolera en Las Cuencas Subandinas", Cartagena, Colombia, Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.

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.

Fajardo, A., Rubiano, J.L., Munar, F., Rueda, M. (1998). Evaluación Regional del Meta. Piedecuesta, Santander, Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) - ECOPEPETROL.

George R., Pindell J., L., Cristancho J. (1997). Eocene Paleostucture of Colombia and implications for history of generations and migration of Hydrocarbons. VI Simposio Bolivariano "Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas",

Cartagena, Colombia, Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del petróleo.

Germeraad, J. H., Hopping, C.A., y Muller, J. (1968). "Palynology of Tertiary sediments from tropical areas." *Review of Palaeobotany and Palynology* 6: 189-348.

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.

González, E. (1967). A palynological study on the Upper Los Cuervos and Mirador Formations (Lower and Middle Eocene; Tibú Area, Colombia). Leiden: 68.

Haq, B., Hardenbol, J., Vail, P. and (1988). "Sea level Changes: an integrated approach Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles." Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication 42.

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: 1330-1331.

Horn, C., Kaandorp, M., Roele, J. (1987). Tertiary Sediments of the Usme Valley, Colombia: A Palynological and Stratigraphical Approach. Amsterdam, Hugo de Vries laboratory.

Hubach, E. (1957). "Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores." *Boletín Geológico* 5 No.2: 93-112.

<http://www.surveysystem.com/sscalc.htm>

INTERNATIONAL, W. A. (1995.). Regional Evaluation of the Upper Magdalena and Putumayo basins of Colombia., Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL).

Jaramillo, C. (1999). Middle Paleogene Palynology of Colombia, South America: Biostratigraphic, Sequence Stratigraphic and Diversity Implications. Gainesville, University of Florida. Ph. D. Dissertation: 413.

Jaramillo, C., Dilcher, D. (2001). "Middle Paleogene palynology of Central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes." *Palaeontographica* 258: 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) - ECOPETROL.

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". In press. *Tectonophysics*.

Mora, A., Venegas, D., Vergara, L. (2000). "Estratigrafía del Cretáceo Superior y Terciario inferior del sector Norte de la Cuenca del Putumayo. Departamento del Caquetá, Colombia." *Geología Colombiana* 23.

Munar, F. (1991). Determinación de ambientes sedimentarios en la Subcuenca Apiay-Ariari, Llanos Orientales. Piedecuesta, Santander, Instituto Colombiano del petróleo (ICP) - ECOPETROL.

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 55: 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 31: 9-35.

Osorio, C., Michoux, D., Téllez, G. (2000). Stratigraphy of the Tertiary Sequences - Upper Magdalena and the Putumayo Basins, a Different Point of View for Hydrocarbon Exploration. Bogotá, TOTAL FINAELF: 1-9.

Paba, S. F., Van der Hammen, Th. (1958). "Sobre la geología de la parte S de la Macarena." Boletín Geológico 6 No. 1-2: 7-30.

Pemberton G.S., MacEachern, J.A. (1995). The Sequence Stratigraphic Significance of Trace Fossils: Examples from the Cretaceous Foreland Basin of Alberta, Canada. Sequence Stratigraphy of Foreland Deposits. B. Van Wagoner J.C., G.T. Tulsa, American Association of Petroleum Geologist: 429-471.

Pemberton G.S., MacEachern, J.A., Frey, R.W. (1992). Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. Facies Models: Response to sea level change. R. G. Walker, James N.P. Ontario, Geological association of Canada: 47-72.

Pindell, J., George, R., Cristancho, J., Higgs, R. ECOPETROL, Tectonic analysis Inc. Consultant- 131 Tambridge Park-Horsham. (1997). Clarification of the late Cretaceous-Paleogene Evolution of Colombia. VI Simposio Bolivariano de Exploración en las Cuencas Subandinas., Cartagena, Colombia., Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.

Reyes, A., Olaya, I.D., Munar, F., Sarmiento, L.F., Gomez, P., Giraldo, B., Rangel, A., Rueda, M., Zegarra, M. (1997). Evaluación Regional de la Cuenca Yará - Caguán. Piedecuesta, Santander, Instituto Colombiano del Petróleo "ICP" - ECOPETROL.

Rivadeneira, M., Baby, P. (1999). La Cuenca Oriente: Estilo Tectónico, Etapas de Deformación y Características Geológicas de los Principales Campos de Petroproducción. Quito, Ecuador, Petroproducción – IRD (EX ORSTOM).

Rivadeneira, M., Dávila, C., Galamaga, M., Rosero, J. (1997). Estilo Tectónico y Etapas de Deformación de la Parte Norte de La Cuenca de Oriente Ecuatoriana. Convenio Postproducción-Orstom. VI Simposio Bolivariano de Exploración en las Cuencas Subandinas, Cartagena, Colombia, Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.

Rull, V. (2002). "High-impact palynology in petroleum geology: Applications for Venezuela (northern South America)." AAPG Bulletin 86 No.2: 279-300.

Rull, V. (2000). "Ecostratigraphic study of Paleocene and Early Eocene palinological cyclicity in Northern South America." Palaios 15: 14-24.

Rull, V. (1997). "Sequence analysis of Western Venezuelan Cretaceous to Eocene sediments using palinology: Chrono-paleoenvironmental and paleovegetational approaches." Palynology 21: 79-90.

Rull, V. (1992). "Paleoecología y análisis secuencial de una sección deltáica terciaria de la cuenca de Maracaibo." Boletín de la Sociedad Venezolana de geología. 46: 16-26.

Shagam, R., Kohn, B., Banks, P., Dasch, L., Rodríguez, G., Vargas, R., Pimentel, N. (1984). Tectonic Implications of Cretaceous-Pliocene fission-track ages from rocks of the circum-Maracaibo Basin region of western Venezuela and eastern Colombia. The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics. W. Bonini, Hargraves, R., Shagam, R. Colorado, The Geological Society of America: 415.

Traverse, A. (1988). Paleopalynology. Boston, Allen & Unwin Inc.

Van der Hammen, T. (1957). "Estratigrafía Palinológica de la Sabana de Bogotá." Boletín de Geología V, No. 2: 187-203.

Van der Hammen, T. (1958). "Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y Tectogenésis de los Andes Colombianos." Boletín Geológico 6 No. 1-3: 67-128.

Villamil, T. (1999). "Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and Western Venezuela." Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 153: 239-275.

Villamil, T., Restrepo P. (1997). Paleocene-Miocene paleogeographic evolution of Colombia. VI Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas, Cartagena, Colombia, Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.

Walker, R., Guy Plint, A., Eyles, N., Eyles, C. (1992). Control of Sea Level Change. Facies Models, response to Sea Level Change. R. Walker, James N.P. Ontario, Geological Association of Canada: 375.

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K. (2001). "Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present." *Science* 292: 686-693.

Zachos, J. C., Kroon, D., Blum, P. (2004). Leg 208 Summary. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports.

ANEXO 1.
RESULTADOS DEL ANALISIS PALINOLÓGICO

Resultados del Análisis Palinológico en el Pozo Tibú-182K

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
TIBU 182-K	1154517	1441503	8° 35' 19"	72° 40' 38"						
INTERVALO	PROFUNDIDAD	Total Dinoflagelados	Total Foraminíferos	Total Acritarcos	Total Polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos (ST)	IIM = SM/ST
	1804	0	0	0	32	142	0	174	174	0.000
	1989	2	1	0	157	170	3	327	330	0.009
	2015	0	0	0	104	155	0	259	259	0.000
	2041	1	0	0	166	68	1	234	235	0.004
2060-2070	2065	0	2	0	157	288	2	445	447	0.004
	2068	1	0	0	202	124	1	326	327	0.003
	2094	0	0	0	204	133	0	337	337	0.000
2090-2100	2095	0	0	0	50	288	0	338	338	0.000
	2121	0	1	0	118	210	1	328	329	0.003
2120-2130	2125	0	0	0	70	67	0	137	137	0.000
	2147	0	0	0	119	204	0	323	323	0.000
2150-2160	2155	0	0	0	144	163	0	307	307	0.000
2180-2190	2185	0	0	0	169	157	0	326	326	0.000
2210-2220	2215	0	0	0	105	230	0	335	335	0.000
2240-2250	2245	0	0	0	69	82	0	151	151	0.000
2300-2310	2305	0	0	0	135	184	0	319	319	0.000
2350-2360	2355	0	0	0	162	145	0	307	307	0.000
2380-2390	2385	0	0	0	141	188	0	329	329	0.000
2410-2420	2415	0	1	0	135	156	1	291	292	0.003
2440-2450	2445	3	0	0	182	137	3	319	322	0.009
2470-2480	2475	1	0	0	159	160	1	319	320	0.003
2500-2510	2505	0	0	0	162	152	0	314	314	0.000
2530-2540	2535	3	0	0	132	141	3	273	276	0.011
2560-2570	2565	2	0	0	106	111	2	217	219	0.009
2590-2600	2595	0	0	0	174	109	0	283	283	0.000
2620-2630	2625	0	0	0	62	63	0	125	125	0.000
2650-2660	2655	0	0	0	120	181	0	301	301	0.000

Última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* a 1592 pies (Jaramillo y Rueda, 2004)

Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* a 1989 pies

Resultados del Análisis Palinológico en la Sección La Regadera

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
SECC. LA REGADERA	1161563.	1343206	7° 42' 00"	72° 37' 00"						
PIN	Pies. Acum. Respecto a base Mirador	Total Dinoflagelados	Total Foraminiferos	Total Acritarcos	Total polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos (ST)	IIM = SM/ST
RE 241+40	956	0	0	0	91	79	0	170	170	0.000
RE 222+100	865	0	0	0	9	24	0	33	33	0.000
RE 190+10	704	0	0	0	13	5	0	18	18	0.000
RE 143+120	476	0	0	0	32	139	0	171	171	0.000
RE 132	418	0	0	0	42	14	0	56	56	0.000
RE 114	330	1	0	0	50	8	1	58	59	0.017
RE 113 + 50 top flaser	326	2	0	0	27	7	2	34	36	0.056
RE 113	325	0	0	0	41	7	0	48	48	0.000
RE 111	315	0	0	0	66	6	0	72	72	0.000
RE 103 + 130 fault zone	276	4	0	0	82	11	4	93	97	0.041
RE 67+120	102	13	0	0	289	130	13	419	432	0.030

Información tomada de Jaramillo y Dilcher (2001)

Última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* a 956 pies formacionales (Fm. Mirador)

Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* a 956 pies

Resultados del Análisis Palinológico en el Pozo Gibraltar-1 (Comunicación personal, Jaramillo y Rueda, 2004)

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
GIBRALTAR-1	1192238	1270467	7° 2' 29.575"	72° 20' 28.704"						
INTERVALO	PROFUNDIDAD	Total Dinoflagelados	Total Foraminíferos	Total Acritarcos	Total polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos (ST)	IIM = SM/ST
	5990						4	191	195	0.021
	6020						2	175	177	0.011
	6350						0	173	173	0.000

Última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* a 5990 pies

Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* a 5990 pies

sultados del Análisis Palinológico en el Pozo Buenos Aires-3

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD					
BUENOS AIRES-3	1148024.0000	1042647.1875	4°59'0''	72°44'46'					
PROFUNDIDAD	Total Dinoflagelados	Total Foraminiferos	Total Acritarcos	Total polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos	IIM = SM/ST
14870	1	0	0	14	33	1	47	48	0.021
14890	0	2	0	22	60	2	82	84	0.024
14930	0	0	0	3	13	0	16	16	0.000
14950	1	1	0	23	62	2	85	87	0.023
14990	1	1	0	14	21	2	35	37	0.054
15010	0	0	0	36	49	0	85	85	0.000
15040	0	1	0	41	42	1	83	84	0.012
15070	0	0	0	14	35	0	49	49	0.000
15110	0	0	0	31	26	0	57	57	0.000
15130	0	0	0	4	32	0	36	36	0.000
15180	4	0	0	11	26	4	37	41	0.098

No se reportó *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis*

Resultados del Análisis Palinológico de la Sección Piñalerita

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
SECC. LA PIÑALERITA	1118053	1033374	4° 54' 00"	73° 01' 00"						
PIN	Pies. Acum. Respecto a la base de Mirador	Total Dinoflagelados	Total Foraminíferos	Total Acritarcos	Total polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos (ST)	IIM = SM/ST
PIN 81+0	1010	0	0	0	308	123	0	431	431	0.000
PIN 75+160	980	0	0	0	197	199	0	396	396	0.000
PIN 71+10	951	0	0	0	171	89	0	260	260	0.000
PIN 66+80	924	0	0	0	121	160	0	281	281	0.000
PIN 63+20	904	0	0	0	112	235	0	347	347	0.000
PIN 55+30	857	5	0	0	206	121	5	327	332	0.015
PIN 52+110	842	13	0	0	234	188	13	422	435	0.030
PIN 47+100	813	51	0	0	81	124	51	205	256	0.199
PIN 42+100	783	17	0	0	202	235	17	437	454	0.037
PIN 39+166	767	1	0	0	130	258	1	388	389	0.003
PIN 35+90	741	11	0	1	182	224	12	406	418	0.029
PIN 32+0	720	4	0	0	238	142	4	380	384	0.010
PIN 28+0	697	4	0	0	106	17	4	123	127	0.031
PIN 24+90	673	1	0	0	18	10	1	28	29	0.034
PIN 19+60	646	0	1	0	38	6	1	44	45	0.022
PIN 12	602	120	5	2	147	92	127	239	366	0.347
PIN 0	531	0	0	0	9	0	0	9	9	0.000
N 354+120	524	1	0	0	98	41	1	139	140	0.007

Información tomada de Jaramillo y Dilcher (2001)

Última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* a 1010 pies formacionales (Fm. San Fernando)

Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* a 813.32 pies formacionales (Fm San Fernando).

Resultados del Análisis Palinológico del Pozo La María-1

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
LA MARÍA-1	1173736	1052840	5°4'29.9''	72°30'51.733''						
INTERVALO	PROFUNDIDAD	Total Dinoflagelados	Total Foraminíferos	Total Acritarcos	Total polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos (ST)	IIM = SM/ST
15440' - 15450'	15445	1	0	0	121	190	1	311	312	0.003
15470' - 15480'	15475	0	0	0	88	213	0	301	301	0.000
15480' - 15490'	15485	1	0	0	137	185	1	322	323	0.003
15490' - 15500'	15495	0	0	0	102	201	0	303	303	0.000
15510' - 15520'	15515	0	0	0	136	169	0	305	305	0.000
15530' - 15540'	15535	1	1	0	148	164	2	312	314	0.006
15550' - 15560'	15555	0	0	0	141	177	0	318	318	0.000
15560' - 15570'	15565	0	0	0	104	214	0	318	318	0.000
15570' - 15580'	15575	1	3	0	172	146	4	318	322	0.012

No se reportó *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis*

Resultados del Análisis Palinológico del Pozo Guacavía-1

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
GUACAVIA-1	1081051	962500	4°15'34.180''	73°21'3.143''						
INTERVALO	PROFUNDIDAD	Total Dinoflagelados	Total Foraminíferos	Total Acritarcos	Total polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos (ST)	IIM = SM/ST
12430-12440	12435	0	1	0	61	195	1	256	257	0.004
12490-15500	12495	1	2	0	54	124	3	178	181	0.017
12550-12560	12555	1	0	0	42	161	1	203	204	0.005
12600-12610	12605	0	0	0	78	172	0	250	250	0.000
12610-12620	12615	1	0	0	35	73	1	108	109	0.009
12630-12640	12635	1	1	0	46	72	2	118	120	0.017
12660-12670	12665	0	0	0	58	115	0	173	173	0.000
12690-12700	12695	0	0	0	131	73	0	204	204	0.000
12700-12710	12705	1	1	0	133	194	2	327	329	0.006
12720-12730	12725	0	0	0	44	22	0	66	66	0.000
12730-12740	12735	0	0	0	75	75	0	150	150	0.000
12740-12750	12745	0	0	0	102	54	0	156	156	0.000
12750-12760	12755	1	0	0	112	97	1	209	210	0.005
12760-12770	12765	1	0	0	129	63	1	192	193	0.005
12770-12780	12775	0	0	0	50	26	0	76	76	0.000
12780-12790	12785	0	0	0	128	70	0	198	198	0.000
12790-12800	12795	0	0	0	166	109	0	275	275	0.000
12800-12810	12805	2	1	3	192	111	6	303	309	0.019
12810-12820	12815	1	1	0	182	108	2	290	292	0.007
12820-12830	12825	2	0	0	92	57	2	149	151	0.013
12840-12850	12845	1	1	0	124	62	2	186	188	0.011
12860-12870	12865	6	0	0	188	115	6	303	309	0.019
12880-12890	12885	5	2	0	169	109	7	278	285	0.025
12910-12920	12915	11	0	0	182	122	11	304	315	0.035
12920-12930	12925	3	0	0	163	95	3	258	261	0.011

Última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* a 12605 pies

Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* a 12915 pies

Resultados del Análisis Palinológico del Pozo SA-15

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
SA-15	1037369	835943	3°6'55.428''	73°44'41.089''						
INTERVALO	PROFUNDIDAD	Total Dinoflagelados	Total Foraminíferos	Total Acritarcos	Total polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos (ST)	IIM = SM/ST
5210' - 5220'	5215	0	0	0	89	227	0	316	316	0.000
5220' - 5230'	5225	0	0	0	143	161	0	304	304	0.000
5270' - 5280'	5275	0	0	0	77	229	0	306	306	0.000
5310' - 5320'	5315	1	0	0	56	158	1	214	215	0.005
5380' - 5390'	5385	5	8	0	134	169	13	303	316	0.041
5420' - 5430'	5425	4	0	0	169	159	4	328	332	0.012
5490' - 5500'	5495	6	0	0	158	134	6	292	298	0.020
5500' - 5510'	5505	2	0	0	154	147	2	301	303	0.007
5530' - 5540'	5535	1	4	0	159	175	5	334	339	0.015
5560' - 5570'	5565	1	2	0	168	134	3	302	305	0.010

Última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* a 5385 pies

Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* a 5385 pies

Resultados del Análisis Palinológico del Pozo Payara-1

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
PAYARA-1	946707	726468	2° 7' 31"	74° 33' 35"						
INTERVALO	PROFUNDIDAD	Total Dinoflagelados	Total Foraminíferos	Total Acritarcos	Total Polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continetales (SC)	Total Palinomorfos (ST)	IIM = SM/ST
2660-2680	2670	5	3	0	70	149	8	219	227	0.035
2680-2700	2690	2	2	0	77	155	4	232	236	0.017
2720-2740	2730	3	10	0	67	100	13	167	180	0.072
2740-2760	2750	3	1	0	43	31	4	74	78	0.051
2760-2780	2770	0	5	0	85	80	5	165	170	0.029
2800-2820	2810	3	3	0	107	58	6	165	171	0.035
2820-2840	2830	0	0	0	172	131	0	303	303	0.000
2900-2920	2910	1	0	0	186	120	1	306	307	0.003
2960-2980	2970	0	0	0	109	67	0	176	176	0.000
3080-3100	3090	6	2	0	197	132	8	329	337	0.024
3120-3130	3125	5	1	0	218	85	6	303	309	0.019
3160-3180	3170	9	2	1	183	118	12	301	313	0.038
3240-3260	3250	0	0	0	182	124	0	306	306	0.000
3400-3420	3410	13	0	0	180	92	13	272	285	0.046
3480-3500	3490	1	1	0	162	156	2	318	320	0.006

Última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* a 2750 pies

Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* a 2810 pies

Resultados del Análisis Palinológico del Pozo Gigante-1

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
GIGANTE-1	835600	743591	5°3'1''	72°27'28''						
INTERVALO	PROFUNDIDAD	Total Dinoflagelados	Total Foraminíferos	Total Acritarcos	Total polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos (ST)	IIM = SM/ST
6000-6030	6015	0	0	0	56	228	0	284	284	0.000
6060-6090	6075	0	0	0	42	272	0	314	314	0.000
6120-6150	6135	0	0	0	84	240	0	324	324	0.000
6180-6210	6195	0	0	0	95	246	0	341	341	0.000
6240-6270	6255	0	0	0	93	222	0	315	315	0.000
6270-6300	6285	0	0	0	61	258	0	319	319	0.000
6330-6360	6345	0	0	0	45	252	0	297	297	0.000
6390-6420	6405	0	0	0	92	216	0	308	308	0.000
6420-6450	6435	0	0	0	48	250	0	298	298	0.000
6450-6480	6465	0	0	0	56	257	0	313	313	0.000
6540-6570	6555	0	0	0	53	248	0	301	301	0.000
6660-6690	6675	3	0	0	40	118	3	158	161	0.019
6690-6720	6705	0	2	0	57	155	2	212	214	0.009
6750-6780	6765	0	0	0	16	65	0	81	81	0.000
6810-6840	6825	0	0	0	74	242	0	316	316	0.000
6840-6870	6855	2	18	0	32	119	20	151	171	0.117
6900-6930	6915	0	0	0	24	149	0	173	173	0.000
6930-6960	6945	0	1	0	19	87	1	106	107	0.009
6990-7020	7005	0	0	0	116	191	0	307	307	0.000
7020-7050	7035	1	2	0	68	106	3	174	177	0.017
7080-7110	7095	0	0	0	181	172	0	353	353	0.000
7140-7170	7155	0	0	0	118	200	0	318	318	0.000
7170-7200	7185	0	0	0	96	225	0	321	321	0.000
7230-7260	7245	0	0	0	122	182	0	304	304	0.000
7290-7320	7305	0	2	0	41	52	2	93	95	0.021
7320-7350	7335	0	0	0	124	180	0	304	304	0.000
7350-7380	7365	0	0	0	78	266	0	344	344	0.000

Última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* a 7005 pies

Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* a 7035 pies

Resultados del Análisis Palinológico del Pozo Orito Sur-1

POZO	X	Y	LATITUD	LONGITUD						
ORITO SUR-1	686679	554391	0°34'6.772"	76° 53' 39.9"						
INTERVALO	PROFUNDIDAD	Total Dinoflagelados	Total Foraminíferos	Total Acritarcos	Total polen	Total Esporas	Total Palinomorfos Marinos (SM)	Total Palinomorfos Continentales (SC)	Total Palinomorfos (SC)	IIM = SM/ST
3500-3510	3505	1	35	0	74	187	36	261	297	0.121
3520-3530	3525	1	29	0	23	29	30	52	82	0.366
3540-3550	3545	4	29	0	37	31	33	68	101	0.327
3560-3570	3565	82	32	0	23	36	114	59	173	0.659
3580-3590	3585	21	6	0	26	32	27	58	85	0.318
3620-3630	3625	4	7	0	161	169	11	330	341	0.032
3640-3650	3645	0	11	0	100	133	11	233	244	0.045
3660-3670	3665	1	8	0	103	191	9	294	303	0.030
3680-3690	3685	14	15	0	130	141	29	271	300	0.097
3700-3710	3705	0	0	0	138	179	0	317	317	0.000
3720-3730	3725	2	1	0	124	181	3	305	308	0.010
3740-3750	3745	0	0	0	128	175	0	303	303	0.000
3760-3770	3765	1	0	0	72	173	1	245	246	0.004
3780-3790	3785	0	0	0	93	99	0	192	192	0.000
3800-3810	3805	0	5	0	142	170	5	312	317	0.016
3820-3830	3825	0	0	0	117	198	0	315	315	0.000
3840-3850	3845	1	0	0	33	56	1	89	90	0.011
3860-3870	3865	0	2	0	144	167	2	311	313	0.006
3880-3890	3885	0	0	0	52	58	0	110	110	0.000
3900-3910	3905	0	0	0	151	194	0	345	345	0.000
3920-3930	3925	2	1	0	121	199	3	320	323	0.009
3940-3950	3945	2	0	0	141	159	2	300	302	0.007
3960-3970	3965	0	0	0	78	78	0	156	156	0.000
4000-4010	4005	0	1	0	72	76	1	148	149	0.007
4020-4030	4025	1	0	0	20	23	1	43	44	0.023
4060-4070	4065	0	1	0	78	78	1	156	157	0.006
4080-4090	4085	0	0	0	4	3	0	7	7	0.000

Última aparición del taxa *Echitriporites trianguliformis* var. *orbicularis* a 3685 pies

Índice de Influencia Marina (IIM) más alto y más cercano al Tope de la zona palinológica Ca2 *E. trianguliformis* var. *orbicularis* a 3685 pies

ANEXO 2. Correlación Esquemática entre los Pozos Analizados

