

**PALINOLOGÍA DE LOS DEPÓSITOS FLUVIALES DE LA SECCIÓN AGUA  
NEGRA E IMPLICACIONES EN LA GEOLOGÍA DEL NW DE LA CUENCA  
AMAZÓNICA**

**DIANA PAOLA OCHOA LOZANO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2007**

**PALINOLOGÍA DE LOS DEPÓSITOS FLUVIALES DE LA SECCIÓN AGUA  
NEGRA E IMPLICACIONES EN LA GEOLOGÍA DEL NW DE LA CUENCA  
AMAZÓNICA**

**DIANA PAOLA OCHOA LOZANO**

**DIRECTOR:  
VLADIMIR TORRES TORRES PhD.  
ECOPETROL-ICP**

**CODIRECTOR:  
CARINA HOORN PhD.  
Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics  
Universidad de Amsterdam**

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

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2007**

*A Dios, por su bendición,  
A mis padres, por su amor,  
A la Rana, ¡por ese corazón!,  
Al Canguro, ¡por todo y más!,  
Y...al tigre, ¡por que si!*

## **AGRADECIMIENTOS**

**A esa fuerza y luz guiadora que en más de una vez me animó a continuar, a esa energía a la que muchos llaman DIOS.**

**A mi universidad, la UIS, por ser mi segundo hogar durante estos años, y por permitirme llegar a ser lo que siempre quise ser: Geóloga!!!**

**Al Instituto Colombiano de Petróleo, por todo el apoyo tecnológico y profesional.**

**A ACGGP – ARES, por el apoyo económico y científico brindado para la culminación de este proyecto.**

**A STRI y a Carlos Jaramillo, por el apoyo científico y por la oportunidad de ser parte de su equipo.**

**Al geólogo Ph D. Vladimir Torres Torres, quien más que un director, fue un maestro, y me permitió ver más cerca varios de mis ideales y metas de vida y para quien no encuentro palabras que expresen mi eterno agradecimiento.**

**A Carina Hoorn, por facilitarme sus datos, por su confianza, tiempo y por permitirme adentrarme en el maravilloso mundo del Bosque Amazónico.**

**Al Grupo de Bioestratigrafía, por todos los consejos, el soporte técnico y las correcciones y aportes durante la elaboración de este trabajo, por hacerme sentir aún más amor por la historia de la Tierra.**

**Al equipo del “Jaramillo Lab.” Por todo el apoyo y respaldo tanto científico como a nivel afectivo, con especial cariño al Boyaco y a Sánchez, por convertirme en su “hermanita menor”; a Silane y a Fátima, por su preocupación en la discusión de la evolución Amazónica; a Paula y a Javier por todos los buenos ratos, a Alexander y a Vandana Prasad por su apoyo y preocupación en la culminación de este libro.**

**A mis Profesores, por su conocimiento y enseñanzas; con especial afecto a Geol. M. Sc. Jesús Hernando Mendoza por creer en mí y permitirme vivir uno de los mejores meses de mi vida en Frontino, Antioquia y al Geol. Eliécer Uribe por esas palabras de apoyo y admiración, que llegaron en los momentos más necesarios.**

**A mis Padres por todo su amor y entrega, por gestar esa familia de la que me siento tan orgullosa. A Don Manuel por hacer de mí una gran mujer y a Doña Stella por ser apoyo y cómplice; además por sus chistes y jocosidades que siempre motivan el regreso a casa.**

**A mis hermanas, con especial amor a La Rana, por ser alegría, confianza, frescura, en fin... por ser ella... Mi Ranita!!!**

**A Oscar, por todo!!! ... por dejarme entrar en su vida, por creer en mí, por escucharme hablar largos ratos de polen, por tantos momentos, por hacerme sentir como su tesoro, por hacer desaparecer las distancias... Gracias Cangurete!!**

**A mis amigos Mecánicos: Pablo y Steven, por hacer más fácil el ciclo básico, y después hacer más fácil mi vida...**

**A mis amigos Geólogos: Andrea, Diana Parada, Juan Manuel Triana, por acompañarme, y ser tan grata compañía en el camino, a Willy, por cuidarme y enseñarme tantas cosas.**

**A mis amigas y compañeras de tesis en el ICP, Kathe y Sandra; a Kathe por estar involucrada con cada cosa que resulta significativa en mi vida; y a Sandra por todos los buenos ratos de compañía en el ICP y sobretodo por las eternas charlas que rompían con la rutina. A las dos les debo un eterno Gracias!**

**A Haky y Ropero por estos años.**

**Y a todos los que ayudaron de una u otra manera, en el proceso de clausura de un ciclo tan importante para mí... ¡Gracias!**

## CONTENIDO

Listado de Figuras

Listado de Tablas

Listado de Anexos

Resumen

Abstract

Introducción

Objetivos

    Objetivo General

    Objetivos Específicos

1. Localización	5
2. Marco Geológico Regional	9
2.1 Clasificación Actual de la Cuenca Amazónica	9
2.2 Evolución Geológica	10
3. Antecedentes	17
4. Materiales y Métodos	20
4.1 Recopilación Información Bibliográfica	20
4.2 Origen y Recopilación de la Información Geológica	20
4.3 Palinología	24
4.4 Análisis Bioestratigráfico	26
4.5 Análisis Paleoecológico y de Biodiversidad	29
4.6 Tratamiento Estadístico de los Datos	32
5. Resultados	33
5.1 Taxonomía Polínica	33
5.2 Análisis Bioestratigráfico	34

5.2.1. Análisis Tradicional o Directo	35
5.2.2. Análisis Cuantitativo	36
5.3 Análisis Paleoecológico	49
5.3.1. Periodos de Invasión Marina	53
5.3.2. Diversidad a Nivel de Especies	53
6. Discusión	59
6.1 Análisis Bioestratigráfico de Agua Negra	59
6.2 Análisis Paleoecológico y Estructura del Bosque Amazónico del Mioceno Temprano	60
6.3 Estructura de la Comunidad y Diversidad a Nivel de Especies	61
7. Conclusiones	63
8. Recomendaciones	65
Referencias Bibliográficas	66

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa físico de la Cuenca Amazónica	5
<b>Figura 2.</b> Mapa de división estructural de la Cuenca Amazónica	6
<b>Figura 3.</b> Localización de la sección Agua Negra en la Meseta de Araracuara, Cuenca Amazónica	7
<b>Figura 4.</b> Evolución Geológica de la Cuenca Amazónica durante el Mioceno	15
<b>Figura 5.</b> Correlación entre Pozos 1AS-4a-AM y 1AS-51-AM y afloramientos, Cuenca Amazónica	19
<b>Figura 6.</b> Columna estratigráfica y afloramiento de la sección Agua Negra Este	21
<b>Figura 7.</b> Columna estratigráfica sección Agua Negra Oeste	23
<b>Figura 8.</b> Curva de número de especies (S) contra número de individuos por muestra	25
<b>Figura 9.</b> Curva teórica del incremento del número de taxa observados con el incremento del número de individuos contados	25
<b>Figura 10.</b> Relación entre la probabilidad de detección de taxa y la frecuencia de polen, para determinados valores de recuento de polen	26
<b>Figura 11.</b> Correlación de las zonaciones palinológicas propuestas para el Mioceno del Norte de Suramérica	35
<b>Figura 12.</b> Máximos cliqués encontrados para la Sección Agua Negra	37
<b>Figura 13.</b> Relación estratigráfica entre las Asociaciones Unitarias de la sección Agua Negra.	37
<b>Figura 14.</b> Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias identificadas.	38
<b>Figura 15.</b> Relación estratigráfica entre las Asociaciones Unitarias del Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra	40
<b>Figura 16.</b> Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias identificadas para el Pozo 1AS-4a-AM y la sección	42
<b>Figura 17.</b> Cliqués identificados entre el pozo 1AS-4a-AM, y las secciones Mariñame, Tres Islas, Santa Isabel y Agua Negra	44

<b>Figura 18.</b> Contradicción bioestratigráfica para el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra	44
<b>Figura 19.</b> Relación estratigráfica entre las Asociaciones Unitarias del Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra	46
<b>Figura 20.</b> Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias establecidas para el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra	47
<b>Figura 21.</b> Zonaciones palinológicas durante Mioceno para el N de Suramérica y correlación con la sección Agua Negra	48
<b>Figura 22.</b> Morfoespecies palinológicas con afinidad ecológica	49
<b>Figura 23.</b> Porcentaje de abundancias por hábito ecológico de las especies de la sección Agua Negra Este y Oeste	52
<b>Figura 24.</b> Estructura esquemática de un bosque húmedo tropical	51
<b>Figura 25.</b> Curva de rarefacción R(352) con un intervalo de confianza del 95%	54
<b>Figura 26.</b> Curva de Diversidad H para la sección Agua Negra	55
<b>Figura 27.</b> Curva de Equidad J para la sección Agua Negra	56
<b>Figura 28.</b> Curva de Dominancia E para la sección Agua Negra	57
<b>Figura 29.</b> Correlación de los índices de diversidad analizados en la sección Agua Negra	58

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Formaciones geológicas del área de Araracuara	14
<b>Tabla 2.</b> Inventario del recuento de palinomorfos de la sección Agua Negra	33
<b>Tabla 3.</b> Asociaciones Unitarias identificadas en la sección Agua Negra	38
<b>Tabla 4.</b> Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias de la sección Agua Negra	39
<b>Tabla 5.</b> Relación bioestratigráfica de las Asociaciones Unitarias de la sección Agua Negra	39
<b>Tabla 6.</b> Asociaciones Unitarias identificadas entre el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra	41
<b>Tabla 7.</b> Relación bioestratigráfica de las Asociaciones Unitarias entre el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra	42
<b>Tabla 8.</b> Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias establecidas para el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra	43
<b>Tabla 9.</b> Asociaciones Unitarias identificadas entre el Pozo 1AS-4a-AM, los afloramientos y la sección Agua Negra	45
<b>Tabla 10.</b> Relación bioestratigráfica de las Asociaciones Unitarias entre el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra	46
<b>Tabla 11.</b> Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias establecidas para el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra	47
<b>Tabla 12.</b> Afinidad taxonómica y ecológica de las especies encontradas en la sección Agua Negra, según Lorente (1986) y Marchant et.al. (2002)	50
<b>Tabla 13.</b> Número de individuos, Riqueza (S), Riqueza usando rarefacción (R(352)) para cada una de las muestras de la sección Agua Negra	54
<b>Tabla 14.</b> Valores para el índice de Diversidad de Shannon-Wiener H	55
<b>Tabla 15.</b> Valores para el índice de Equidad de Pielou J	56
<b>Tabla 16.</b> Valores para el índice de Dominancia E	57

## LISTADO DE ANEXOS

**Anexo 1.** Carta de distribución palinológica Agua Negra Este

**Anexo 2.** Carta de distribución palinológica Agua Negra Oeste

**Anexo 3.** Catalogo sistemático de morfoespecies observadas

**Anexo 4.** Matriz de datos para hallar las Asociaciones Unitarias de la sección Agua Negra

**Anexo 5.** Matriz de datos para hallar las Asociaciones Unitarias entre el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra

**Anexo 6.** Matriz de datos para hallar las Asociaciones Unitarias entre el Pozo 1AS-4a-AM, las secciones Mariñame, Tres Islas, Santa Isabel y la sección Agua Negra

**Anexo 7.** Carta de distribución palinológica según hábito ecológico sección Agua Negra Este

**Anexo 8.** Carta de distribución palinológica según hábito ecológico sección Agua Negra Oeste

## RESUMEN

**TÍTULO: PALINOLOGÍA DE LOS DEPÓSITOS FLUVIALES DE LA SECCIÓN AGUA NEGRA E IMPLICACIONES EN LA GEOLOGÍA DEL NW DE LA CUENCA AMAZÓNICA\***

**AUTOR: DIANA PAOLA OCHOA LOZANO\*\***

En este estudio se aborda el registro palinológico de la sección Agua Negra, localizada al Este de la Meseta de Araracuara-NW de la cuenca Amazónica; dicho registro fue asociado con el "Terciario Superior Amazónico" y corresponde a un régimen fluvial de baja sinuosidad, con una litología predominantemente arenosa, con intercalaciones arcillosas, de lignitos y ocasionales horizontes ferruginosos, hacia el tope aparecen conglomerados no consolidados.

En este estudio, se identificaron 63 morfoespecies nuevas. La asociación palinológica encontrada está representada por *Retitricolporites caputoi*, *Heterocolpites incomptus*, *Psilatricolporites garzonii*, *Ranunculacidites operculatus*, *Tetracolporopollenites transversalis*, *Retitricolpites simplex*, *Laevigatosporites tibui*, *Retitricolpites caquetanus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Retitricolporites wijmstrae*, *Rhoipites* aff. *Rhoipites guianensis*, *Retitrescolpites? irregularis*, *Psilamonocolpites nanus*, *Syncolporites poricostatus*, *Psilamonocolpites amazonicus*, *Retitricolpites brevis*, *Mauritidites franciscoi franciscoi*, *Mauritidites franciscoi* var. *minutus*, y *Perisyncolporites pokorny*, sugiriendo un ambiente de bosque húmedo tropical. Se descartó la presencia de periodos significativos de incursión marina durante la depositación de los sedimentos dado el bajo porcentaje (0.16%) de palinomorfos asociados a manglares (*Zonocostites*) y a la ausencia de formas marinas como dinoflagelados y foraminíferos.

A partir del uso del método de Asociaciones Unitarias, se definieron tres asociaciones para la sección Agua Negra, éstas fueron comparadas con los datos palinológicos reportados para el Pozo 1AS-4a-AM, usado para definir la zonación de la cuenca. Esta comparación permitió correlacionar la sección con la base del pozo, por lo tanto, se sugirió que la depositación ocurrió durante el Mioceno Temprano. Adicionalmente, dada la importancia regional del pozo, las asociaciones encontradas se compararon con otros datos palinológicos publicados para otros afloramientos correlacionados con dicho pozo.

Palabras Claves: Agua Negra, Asociaciones Unitarias, Cuenca Amazónica, Meseta de Araracuara, Mioceno Temprano, palinología.

\* Trabajo de grado modalidad Investigación

\*\* Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Universidad Industrial de Santander. Director: Vladimir Torres Torres, Codirector: Carina Hoorn.

## ABSTRACT

**TITLE: PALINOLOGY OF FLUVIAL DEPOSITS FROM AGUA NEGRA SECTION AND GEOLOGICAL IMPLICATIONS FOR NW AMAZONIC BASIN\***

**AUTHOR: DIANA PAOLA OCHOA LOZANO\*\***

Palynological studies were carried out in Agua Negra Section located East from the Araracuara Plateau-NW Amazonic Basin; this section has been considered as "Upper Amazonian Tertiary" and corresponds to a low sinuosity fluvial regime that predominantly consists of sandy lithology, with clayish interbedding of argillaceous, lignites and occasional ferruginous horizons. Towards the top, the section gradually changes into nonconsolidated conglomerates.

In this study, 63 new morphospecies were identified. The palynological assemblage is mainly represented by *Retitricolporites caputoi*, *Heterocolpites incomptus*, *Psilatricolporites garzonii*, *Ranunculacidites operculatus*, *Tetracolporopollenites transversalis*, *Retitricolpites simplex*, *Laevigatosporites tibui*, *Retitricolpites caquetanus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Retitricolporites wilmstrae*, *Rhoipites* aff. *Rhoipites guianensis*, *Retitrescolpites? irregularis*, *Psilamonocolpites nanus*, *Syncolporites poricostatus*, *Psilamonocolpites amazonicus*, *Retitricolpites brevis*, *Mauritidites franciscoi franciscoi*, *Mauritidites franciscoi* var. *minutus* and *Perisyncolporites pokorny*. which suggests a tropical humid forest environment. The possibility of significant periods of marine incursion at the time of deposition of these sediments is ruled out by very low percentage (0.16%) of mangroves (*Zonocostites*) and complete absence of marine forms (dinoflagellates and foraminifera).

Three associations were found through the use of Unitary Association, and then compared against the palinological data of well 1AS-4a-AM, which has been used to define the zonation of the basin. A correlation was found between the identified associations and those from the bottom of the well. As a consequence, the section is likely to be Lower Miocene. Additionally, given the regional reference constituted by the well, the found associations were compared to other published outcrop data.

Key words: Agua Negra, Amazonian Basin, Araracuara plateau, Lower Miocene, palinology, Unitary Associations.

\* Undergraduated project. Investigation area

\*\* Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Universidad Industrial de Santander. Director: Vladimir Torres Torres, Codirector: Carina Hoorn.

## INTRODUCCIÓN

Durante el Mioceno la Cuenca Amazónica fue una extensa zona drenada por un sistema fluvial de aguas dulces, las cuales cíclicamente aumentaban su salinidad en respuesta a los eventos de invasión marina dando lugar a una serie de condiciones favorables para la radiación y migración de diferentes especies de fauna y flora (Hoorn & Vonhof, 2006). Este ambiente regido por un clima de estaciones húmedas y secas favoreció la existencia de un bosque húmedo tropical y en gran medida determinó el paisaje y la diversidad actual de la Amazonia.

Para este intervalo, la Cuenca Amazónica cuenta con zonaciones bioestratigráficas realizadas a partir del análisis de registros palinológicos (Hoorn, 1993) y de ostrácodos (Muñoz-Torres, et al., 2006). La zonación palinológica fue desarrollada por Hoorn (1993) con base en el registro de dos pozos exploratorios (Pozo 1AS-4a-AM y Pozo 1AS-51-AM), los cuales fueron perforados por la *Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais-CPRM* de Brasil.

Adicionalmente, la Cuenca Amazónica cuenta con la calibración y correlación de diferentes secciones de Perú, Colombia y Brasil (Hoorn, 1993; 1994a; 1994b). Sin embargo, en la Amazonía Colombiana y en especial en la Meseta de Araracuara aún hay desconocimiento de la estratigrafía regional, y se encuentran varios afloramientos Neógenos cuyos registros sedimentarios fragmentados no han sido estudiados. Este es el caso de la sección Agua Negra, localizada en el flanco Este de la Meseta de Araracuara (NW de la Cuenca Amazónica), cuya posición estratigráfica, relación bioestratigráfica con otras secciones de la Meseta y los procesos ambientales involucrados durante su depositación se desconocen.

En este contexto, a partir de la zonación bioestratigráfica palinológica y de la correlación hecha por Hoorn (1994a), para las secciones Mariñame, Santa Isabel y Tres Islas se pretende responder los siguientes interrogantes i) Cuál

es la posición bioestratigráfica de la sección Agua Negra, según la zonación propuesta por Hoorn (1993). ii) Cuáles son los paleoambientes y las condiciones paleogeográficas asociadas con la depositación de los sedimentos de la Sección Agua Negra, según el registro palinológico preservado iii) Cuál es la relación del Bosque Amazónico actual con el Bosque Amazónico del Mioceno; y iv) Qué relación hay entre los eventos de incursión marina registrados en el Mioceno en la Cuenca Amazónica y la sección Agua Negra.

El estudio de los sedimentos de la sección Agua Negra tiene considerable importancia en el marco geológico y paleoecológico no sólo de la Meseta de Araracuara, y de la Cuenca Amazónica, sino también en el de la Cuenca de los Llanos. Dado que para el Mioceno ambas cuencas se encontraban conectadas y fueron afectadas por periodos de invasiones marinas, que según el registro estratigráfico y análisis palinológicos preliminares desarrollados por el grupo de Bioestratigrafía de ECOPETROL-ICP, corresponderían a eventos isócronos, lo que podría indicar una historia paleoambiental bastante similar para este intervalo de tiempo.

Por lo tanto, el análisis de las condiciones ambientales durante la depositación de estos sedimentos y su relación bioestratigráfica con las secciones ya analizadas, aporta nuevas consideraciones geológicas tanto para los modelos de reconstrucción paleogeográfica de la Cuenca Amazónica y del paleorelieve de Araracuara, como para la relación estratigráfica con la cuenca del Piedemonte-Llanos. Finalmente, este trabajo aporta nuevos datos para entender los eventos de incursión marina del Mioceno, su relación con el origen del actual Bosque Amazónico, y el sistema climático de estaciones húmedas y secas desarrollado desde el Mioceno hasta hoy.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar palinológicamente 60m de sedimentos depositados en la sección Agua Negra y correlacionarlos con el marco bioestratigráfico propuesto por Hoorn (1993) para el área.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar palinomórficamente el material hallado en cada una de las placas observadas de la Sección Agua Negra.
- Relacionar los datos bioestratigráficos obtenidos de la sección Agua Negra con otras secciones de la Cuenca Amazónica, e inferir relaciones temporales y ambientales, aplicando el método de Asociaciones Unitarias como una herramienta de bioestratigrafía cuantitativa.
- Definir cualitativamente los grupos paleoecológicos asociados al registro inventariado en la Sección Agua Negra para determinar las condiciones paleoambientales.

## 1. LOCALIZACIÓN

La sección Agua Negra, se encuentra ubicada en la Cuenca Amazónica, la cual se localiza en el extremo Oeste del escudo de la Guyana y constituye la cuenca Cenozoica más grande del mundo, con un área de drenaje actual de  $5.8 \times 10^6$  km<sup>2</sup> y un área selvática de unos  $5.6 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, representa cerca del 50% del área selvática tropical de la Tierra (Roddaz, et al., 2005a) (Figura 1). La sección Agua Negra, se localiza específicamente, en el departamento de Caquetá, en cercanías al río que lleva el mismo nombre, hacia al flanco Oeste de la meseta de Araracuara, localizada a 72°25'W y 0°35'S.



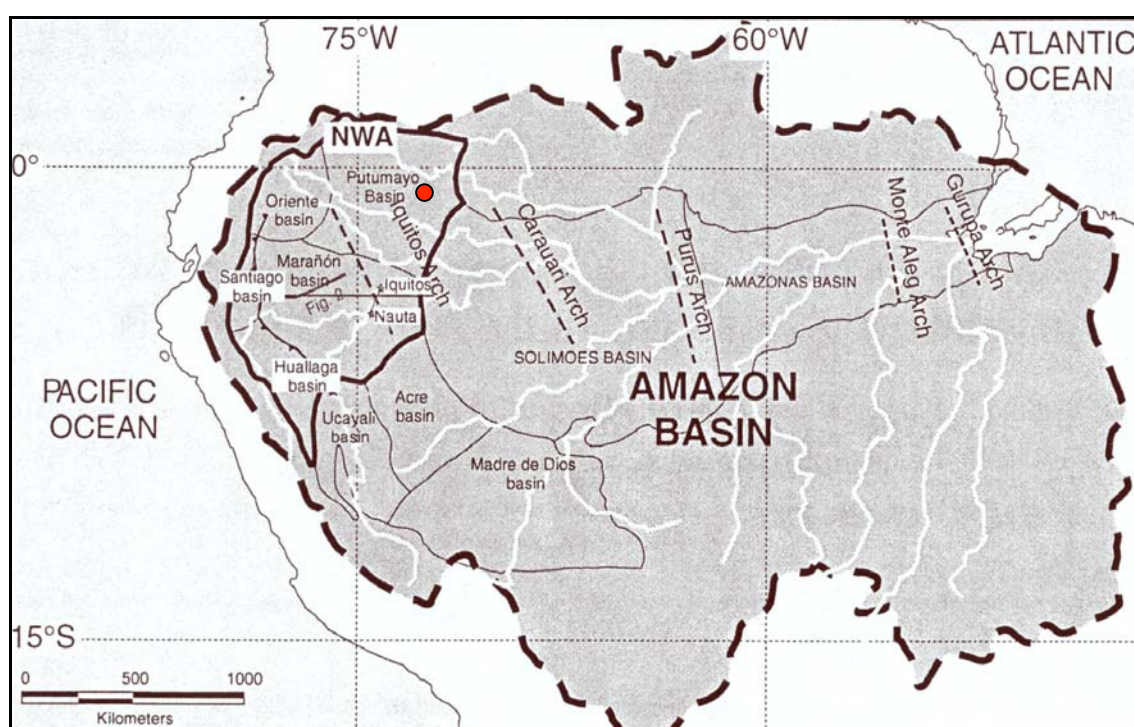
**Figura 1)** Mapa físico de la Cuenca Amazónica. Tomado de Encarta Microsoft, 2006

Desde el punto de vista estructural, la cuenca se divide en tres arcos (o elevaciones) dispuestos transversalmente y surgidos en el Paleozoico (Figura 2):

- El Arco de Iquitos que pasa por la ciudad de Iquitos en el Este y separa la subcuenca Acre del curso superior.

- Cerca de Manaus, el Arco Purus es el límite de la sección superior y media de la cuenca del Amazonas y se halla cerca de la desembocadura del río Perú en el área de Solimões.
- El Arco Gurupá que pasa al Este de la desembocadura del río Xingú separa la sección media de la zona de la bahía.

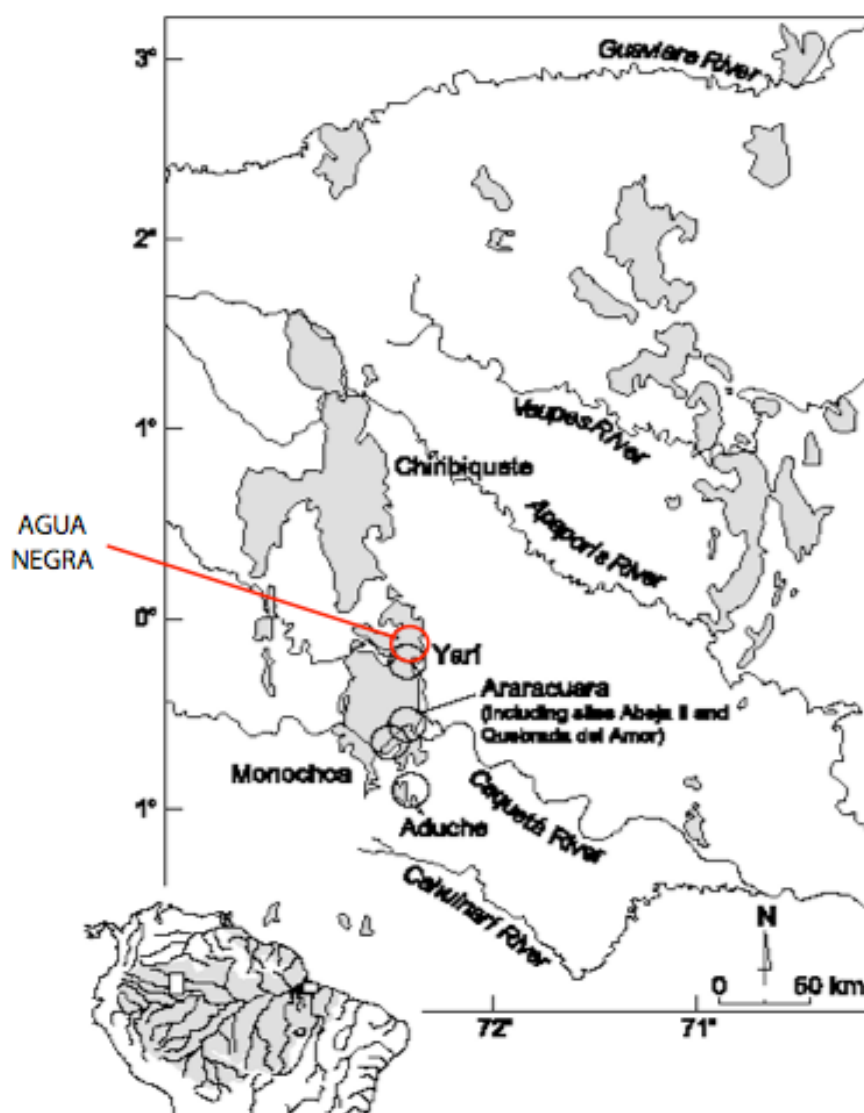
Estos arcos están compuestos de material del zócalo cristalino y han experimentado, desde el Paleozoico, diferentes fases de elevaciones, procesos que han determinado la sedimentación y erosión de cada subcuenca. Los sedimentos han sufrido pocas deformaciones y metamorfismos, exceptuando algunas zonas de la sección superior de la cuenca (Roddaz et al., 2005b).



**Figura 2)** Mapa de división estructural de la Cuenca Amazónica. El punto indica la localización de la Meseta de Araracuara. Tomado de Roddaz et al., 2005

Geomorfológicamente, la cuenca está representada por colinas de poca altura y grandes áreas de llanuras. Las mesetas más importantes son la Serranía del Chiribiquete, Serranía de La Macarena, Meseta de Araracuara, Serranía de Taraira, Serranía de Circasia-Yambí-Macú y la Serranía de Naquén (Berrio et al., 2003).

La Meseta de Aracuara (Figura 3), ubicada en la provincia más occidental del escudo de la Guyana, alcanza alturas de 300-350msnm y está conformada por rocas Paleozoicas de la Formación Aracuara, que son disectadas por planicies terciarias y pleistocénicas generadas por el Valle del Río Caquetá. Esta meseta presenta numerosas y extensas llanuras y estructuras superficiales tipo domos, las cuales están separadas entre sí por profundas fisuras (Duivenvoorden & Lips, 1993, en Berrio et al., 2003).



**Figura 3)** Localización de la sección Agua Negra en la Meseta de Aracuara, Cuenca Amazónica. Modificado de Berrio et al., 2003

En general, la meseta no presenta desarrollo de suelos debido al constante lavado del drenaje, y donde ocurren, son pobres en nutrientes, y su

composición es predominantemente cuarzosa (Berrío et al., 2003). Esta zona, según la clasificación de Holdridge et al. (1971), es un área de bosque húmedo tropical, con precipitaciones anuales de 3000mm y distribución unimodal a lo largo del año, alcanzando temperaturas promedio de 26°C. (En Hoorn, 1994a; Hoorn, 1994b)

## **2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

La cuenca Amazónica está limitada al Este por el escudo de la Guyana, y al Oeste por el Alto de Florencia, el cual la divide de la cuenca del Putumayo. Hacia el Norte está separada de la cuenca de los Llanos por el Arco de Vaupés, y al Sur, la cuenca encuentra continuidad en la Cuenca de *Solimões*, Brasil (Hoorn, 1994a; Rebata et al., 2006).

### **2.1 CLASIFICACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA AMAZÓNICA**

La Cuenca Amazónica en general es clasificada como una cuenca de Antepaís o *Foreland*, asociada a la formación del Sistema Andino (Hoorn, 1994a; Roddaz, 2005a). Dentro de este marco, el costado noroccidental según sus características genéticas, sedimentarias y la relación con el depocentro, es considerado como la zona de Retroarco de la cuenca Antepaís (*Retroarc Foreland*).

En general, las cuencas antepaís (*Foreland*) son grandes, intracontinentales, normalmente están relacionadas con sedimentos paleozoicos o mesozoicos, y dado el levantamiento orogénico que presentan en unos de sus márgenes externos, reciben sedimentos provenientes de otras fuentes. Adicionalmente, desarrollan un perfil asimétrico por deflexión de la litosfera, como respuesta a la aplicación del sistema de fuerzas orogénico (Mier, 2000).

Las subcuencas Antepaís de Retroarco (*Retroarc Foreland*), son compresivas, presentan disconformidades locales por acomodación y tectonismo sindeposicional, tasas de subducción lentas, y sedimentos de origen clástico o asociados al fallamiento de cabalgamiento, y en menor grado relacionados al arco volcánico. Para desarrollarse necesitan de un basamento de corteza continental y de una plataforma clástica marina somera a no marina de secuencias granocrecientes (Miall, 1985).

Este perfil asimétrico en la Cuenca Amazónica es la respuesta al levantamiento Andino y es evidente cuando se comparan los espesores que alcanza la columna sedimentaria en diferentes puntos. Por ejemplo, hacía el margen Este, donde la influencia del movimiento orogénico fue menor, se tienen valores entre 0.5-1.5km, mientras que hacía el Oeste, donde los vectores de fuerzas

por acción del levantamiento fueron mayores, se tienen espesores entre los 3-7km (Rebata et al., 2006).

Esta extensa cuenca de tipo Antepaís (*Foreland*), se desarrolló durante el Cretácico tardío, entre el Cratón Amazónico de edad Precámbrica, conformado por los Escudos de la Guyana y de Brasil al Este y por un arco magmático activo (el actual Cinturón Andino) al Oeste. La formación y evolución de este arco y el subsecuente levantamiento de los Andes comenzó hace aproximadamente 90 Ma, como desarrollo de la subducción del extremo Este de la placa de Nazca bajo la placa Suramericana (Gómez et al., 2005; Rebata et al., 2006).

La actividad geológica que impulsó la formación del cinturón Andino, implicó un cambio en el modelo de drenaje, un nuevo sistema de fuerzas producto de la isostasia, y un nuevo régimen de subsidencia tectónica. Igualmente, una serie de incursiones marinas que llegaron al continente a través de diferentes canales (Hoorn, 1994; Hoorn & Vonhof, 2006).

## **2.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA**

La evolución geológica de la cuenca ha sido estudiada por Galvis et al. (1979), Hoorn (1994), Hoorn & Vonhof (2006), Kaandorp et al. (2006), entre otros y puede dividirse en dos fases. La primera desde el Precámbrico hasta el Mesozoico. Allí la cuenca desarrolló procesos ígneos, metamórficos y sedimentarios, y estaba configurada como una cuenca cratónica interior. Una segunda fase desarrollada a partir del Cenozoico, asociada a los procesos desarrollados hacia el margen W de la Placa Suramericana que modificaron la configuración de la cuenca y la convirtieron en una cuenca de antepaís (*Foreland*).

### **PRECÁMBRICO**

El basamento de la Cuenca Amazónica está conformado básicamente por rocas de alto grado de metamorfismo (neises migmatíticos y graníticos) y granitoides, que se asocian al evento tectometamórfico transamazónico (aproximadamente 1800Ma). Los granitos más conocidos son el granito porfiroblástico de El Remanso llamado también de San Felipe en la Serranía de

Naquen, el granito néisico de Araracuara y el granito leucocrático de Atabapó cerca a Puerto Inírida (Toussaint, 1999).

Este zócalo metamórfico está intruído en su parte más oriental (hacia la zona E de los Llanos y Venezuela), por el granito de Parguaza (asociado al Evento Magmático Pargüense), el cual hace parte de una serie de grandes batolitos, postectónicos con relación al evento transamazónico, Dichos batolitos han sido interpretados como el producto de la fusión parcial de la corteza continental debido a un pronunciado alto flujo de calor regional, y poseen raíces profundas, por lo que, localmente están asociados con rocas ultrabásicas, carbonatitas y sienitas nefelínicas, lo cual indicaría una cierta contaminación del manto (Toussaint, 1999).

Además, el basamento está cubierto discordantemente por la Fm. Pedrera (1500Ma), la cual está constituida por cuarcitas micáceas y ortocuarzitas intercaladas con metaconglomerados y esquistos cuarzosos cuyo protolito se relaciona con sedimentos detríticos fluviales y deltaicos (Galvis et al., 1979). Varios autores correlacionan esta formación con la Fm. Roraima aflorante en Venezuela (Galvis et al., 1979; Toussaint, 1999).

Finalmente, como último evento del Precámbrico se registra el evento nickeriense, caracterizado como un metamorfismo de muy bajo a bajo grado, con desarrollo de zonas de milonitas asociadas a grandes cizallamientos (Toussaint, 1999).

## **PALEOZOICO**

El Paleozoico inferior esta representado por rocas sedimentarias marinas mientras que el Paleozoico superior está totalmente ausente. Durante el Cambro-Ordovícico, una transgresión marina epicontinental bastante tranquila, con poca circulación de agua y débil oxigenación afectó el borde occidental de la cuenca. Este fenómeno permitió una sedimentación de plataforma (Fm. Araracuara) en una depresión que formaba un corredor de dirección aproximadamente N-S y que se extendió desde el departamento de Arauca al Norte hasta el de Amazonas al Sur (Toussaint, 1999). La Fm. Araracuara inicia con un conglomerado basal que reposa discordantemente sobre el basamento precámbrico. Luego aparecen unas capas de areniscas seguidas por arcillolitas micáceas de color verde y limolitas rojizas (Toussaint, 1999).

Hacia la Orinoquía y en parte de la Serranía de La Macarena a poca profundidad, se desarrollaron formaciones calcáreas debido a la actividad de organismos fotosintéticos primitivos (algas azules) y tuvo lugar la sedimentación de abanicos submarinos. Posteriormente se produjo un evento tectónico que implicó un metamorfismo de grado bajo para las sedimentitas recién depositadas y un evento magmático expresado en la aparición de la sienita nefelínica del Guaviare (Toussaint, 1999).

A partir de ésta última actividad (Ordovícico) se presenta un largo periodo de tiempo sin depositación (hiato) para la región amazónica. Ocurre un basculamiento suave del borde del cratón hacia el Oeste, facilitando la depositación de nuevas sedimentitas de grano fino en forma de cuña, que se adelgazan hacia el Este de la región de la Orinoquía (Toussaint, 1999).

### **MESOZOICO**

En la Cuenca Amazónica, el Mesozoico no está reportado, por lo que se considera que desde finales del Ordovícico, esta área del cratón era una zona emergida sujeta a los efectos de erosión que aportó material clástico hacia la parte W de los Llanos Orientales.

Sin embargo, el marco geológico que se desarrollaba durante esta era hacia el Oeste, tuvo gran incidencia en el desarrollo posterior de los procesos cenozoicos de la cuenca. Por ejemplo, durante el Cretácico se formaron grandes y potentes secuencias sedimentarias (Fm. La Luna – Cuenca Catatumbo) con rápidos cambios de facies, las cuales posteriormente serían levantadas, contribuirían con carga litostática y permitirían la deflexión de la corteza y el desarrollo del perfil asimétrico típico de la cuenca antepaís (*Foreland*) (Toussaint, 1999).

### **CENOZOICO**

Para la Amazonía, en esta era, es marcado el dominio de los ambientes continentales, y en menor proporción los transicionales. Los ambientes de depositación son diferentes; unos están aislados y otros en contacto. Durante el Mioceno Temprano, la cuenca recibió aportes del Escudo de Guyana y el sistema fluvial era de poca sinuosidad con una dirección de transporte noroeste. En el Mioceno Medio ocurre una gran transgresión (ingreso del mar por una conexión con el Mar Caribe, a través de la Cuenca Amazónica o desde

el portal de Guayaquil), y se forman grandes sistemas lagunares, pantanosos y depósitos cenagosos de ambiente costero.

Estas depositaciones según Galvis et al. (1979), se dividen en Terciario Inferior Amazónico (Tia) y Terciario Superior Amazónico (Tsa). Mientras la primera secuencia es de afinidad marina a salobre, la segunda es de origen fluviolacustre (Hoorn, 1993).

El Terciario Inferior (Tia), ha sido correlacionado con la Fm. Pebas, descrita en la Amazonia Peruana (Hoorn, 1994a; Rebata et al., 2006), mientras que en Brasil tanto el Tia como Tsa, han sido incluidos en la Fm. Solimões (Hoorn, 1994a; Hoorn, 1994b; Hoorn & Vonhof, 2006; Kaandorp et al., 2006). Sin embargo, debido a la poca información existente, y en función de evitar confusiones, varios autores han nombrado informalmente la unidad Tsa como Areniscas de Mariñame (Hoorn, 1994a; Hoorn, 1994b).

**Tia - Fm. Pebas:** Cubre un área de aproximadamente 1 millón de km<sup>2</sup> en la Amazonía de Colombia, Perú, Ecuador y Brasil, (Kaandorp et al., 2006) y es principalmente de edad Mioceno Temprano (Wesselingh, 2006).

Esta formación está caracterizada por la predominancia de arcillas azulosas, limolitas y areniscas de grano muy fino, depositadas en secuencias granocrecientes (característica típica en cuencas Antepaís de Retroarco), con varias capas de lignitos (Wesselingh, 2006). Los fósiles mas frecuentes son bivalvos, ostracodos, gasterópodos, material orgánico superior (frecuente en las capas de lignito), polen y esporas (Muñoz-Torres et al., 2006). El ambiente de depósito ha sido interpretado como una secuencia producto de la sedimentación de riachuelos, pantanos con variaciones de salinidad y lagos someros con influencia marina (Hoorn, 1994b; Kaandorp et al., 2006).

**Tsa:** Llamado informalmente Areniscas de Mariñame en Colombia por Hoorn, (1994a), está compuesto por conglomerados ferruginosos, areniscas cuarzosas con micas como mineral accesorio, intercaladas con areniscas lodosas, arcillas y lignitos (Hoorn, 1994a).

En general presenta geometría longitudinal variable, lo que indica un ambiente continental dinámico que permitió significativos cambios ambientales durante el depósito. Los fósiles más frecuentemente reportados son escamas de pescado,

foraminíferos del género *Nodosaria* hacia la base (Patarroyo, 1990), restos de plantas superiores, polen y esporas. La edad según datos palinológicos es Mioceno Temprano – Mioceno Medio (Hoorn, 1994a), y según datos de foraminíferos es Cretácico Temprano - Terciario Temprano (Patarroyo, 1990). La secuencia es interpretada como de ambiente fluvial trenzado hacia la base y de tipo meandriforme hacia el tope (Patarroyo, 1990).

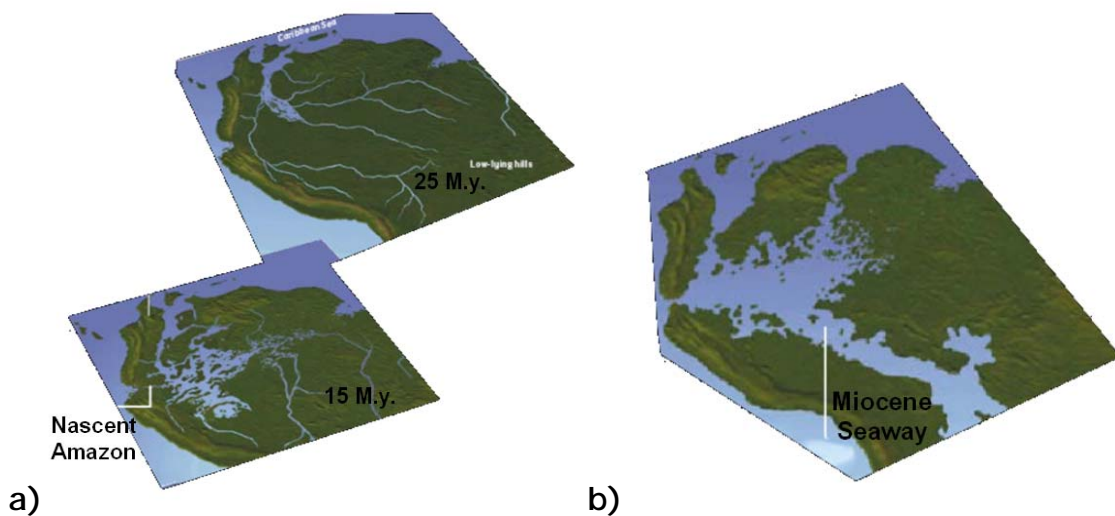
Hacia el área de la Meseta de Araracuara, en cercanías de los ríos Caquetá, Yarí, y Agua Negra, esta unidad fue descrita por Hoorn (1994, 1994a). Allí no se observó el contacto basal de la sección, por lo que no están reportados los conglomerados ferruginosos descritos por Galvis et al. (1979) y Patarroyo (1990) (Tabla 1). Igualmente, el contacto superior de la secuencia fue erodado y reemplazado por una terraza Plio-Pleistocénica. Para este sector, el ambiente se interpretó como canales de depósitos, áreas de inundación, zonas de barras de arenas y turbas (Hoorn, 1994a).

<b>FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ARARACUARA</b>			
<b>ERA</b>	<b>EDAD</b>	<b>FORMACIÓN</b>	<b>LITOLOGÍA</b>
CENOZOICO	CUATERNARIO		Gravas, arenas blancas cuarzosas y arcillas, en terrazas y aluviones
		Terciario Superior Amazónico ( <i>informalmente Areniscas de Mariñame</i> )	Cuarzo-arenitas oxidadas con estratificación cruzada y horizontal, y con gran variedad de tamaño de grano, lutitas, lignitos y conglomerados ferruginosos y de cuarzo.
MESOZOICO	DESCONOCIDO		
PALEOZOICO	500 Ma	Fm. Araracuara	Conglomerados y cuarzo-arenitas en menor proporción arcillolitas.
PRECÁMBRICO	1500 Ma	Fm. La Pedrera	Metasedimentos arenopelíticas, predomina la facies arenosa. Esquistos, cuarcitas
	1600 Ma	Granito de Parguaza	Batolitos localmente asociados a rocas ultrabásicas, carbonatitas y sienitas nefelínicas.
	1800 Ma	Complejo Migmatítico de Mitú	Metagranito, metaconglomerado, basalto, gabro, migmatitas.

**Tabla 1)** Formaciones Geológicas del Área de Araracuara. Tomada de Patarroyo (1990) y modificada según Grandstein et al., (2004)

Durante la depositación de la unidad Tsa, se caracterizó a la cuenca Amazónica como una extensa zona drenada por un sistema fluvial de aguas dulces que fluían hacia la periferia del Cratón Amazónico con dirección noroeste y que presentaba ocasionales variaciones en el nivel de salinidad (Hoorn & Vonhof, 2006). Sin embargo, durante el Mioceno Medio, debido al proceso de exhumación de los Andes, la configuración geológica de la cuenca varió, así como el régimen fluvial y la proveniencia del influjo de sedimentos (Hoorn, 2006).

Con este cambio, se registraron por lo menos tres grandes periodos no cíclicos de incursión marina, en los cuales, el Océano Atlántico ingresó desde varios canales como el actual Golfo de Maracaibo y la desembocadura del Río Paraná en Argentina. Mientras tanto, el portal de Marañon (Perú), antiguo punto de conexión entre el continente y el Océano Pacífico se cerraba a causa del levantamiento de la cadena Andina (Hoorn, 2006) (Figura 4).



**Figura 4)** Evolución Geológica de la Cuenca Amazónica durante el Mioceno; a) Régimen fluvial previo al levantamiento Andino; b) Avance Marino a través de diferente portales, durante un periodo de invasión. Tomado de Hoorn, 2006

En este contexto, hasta el Mioceno Temprano, los diferentes sistemas fluviales corrían en dirección NW y eventualmente desviaban su cauce y desembocaban al N, en el Océano Atlántico; y hacia el Mioceno Medio Tardío, con el levantamiento del Sistema Andino y el consecuente incremento en la actividad tectónica, el sistema fluvial cambió el patrón de drenaje hacia el E, dando

origen al curso del actual Río Amazonas, y haciendo menos frecuentes los eventos de ingreso del mar en el continente. (Hoorn, 2006) (Figura 5).

### **CUATERNARIO**

La geomorfología del Cuaternario, está dominada por terrazas aluviales y valles que cortan y disectan las planicies de sedimentos terciarios. Así mismo, son abundantes las zonas de “tierra firme” o islas, producto de la sedimentación actual de los ríos Amazonas, Caquetá, Apaporis, entre otros. Los prados flotantes, están restringidos al Amazonas y a los afluentes con mayor cauce, y en general el ambiente de depositación de sedimentos y formación del bosque se relacionan con ambientes pantanosos húmedos tropicales y llanuras húmedas (Hoorn, 1994; Berrio et al., 2003).

### **3. ANTECEDENTES**

En la cuenca Amazónica se han realizado varios estudios a nivel geológico y biológico, los cuales han contribuido al conocimiento de la zona con fines que van desde inventariar y conservar la selva Amazónica hasta los que pretenden generar modelos y teorías de evolución, especiación, entre otras.

Los primeros estudios, están reportados desde la época de la Conquista (1542), asociados al desarrollo de las expediciones españolas a lo largo del Río Amazonas, en las cuales se describió y registró la dinámica fluvial del río. A estas observaciones les siguieron estudios de mayor detalle en aspectos geográficos, etnográficos y biológicos como fueron los de La Condamine, 1745 (en Hoorn, 1993) y Von Humboldt, 1800 (en Hoorn, 1993). Para el siglo XIX, comenzaron las investigaciones de tipo geológico, en las cuales se propuso un origen Terciario para los sedimentos de la cuenca, se planteó la influencia marina a partir del hallazgo de fósiles de moluscos, ostrácodos, peces y crustáceos y se asociaron los procesos fluviales locales con el levantamiento Andino (Katzer, 1903; en Hoorn, 1993). Algunos de los estudios más importantes durante este periodo fueron realizados por Agassiz y Agassiz (1879), Conrad (1871) y Voettger (1878), (en Hoorn, 1993; Wesselingh, 2006).

Durante el siglo XX, se desarrollaron numerosos estudios desde diferentes disciplinas, gracias al respaldo económico tanto de gobiernos e institutos locales como al apoyo de entes y organizaciones internacionales (e.g. *Tropenbos, Netherlands Centre for Geo-ecological Research-ICG, Institute of Biodiversity and Ecosystem Dynamics-IBED, Dutch foundation for the Advancement of Tropical Research-WOTRO*, entre otros). Entre los estudios de estratigrafía, paleontología y palinología, se destacan los de: Caputo et al., (1971); Pardo y Zúñiga (1976); Absy (1979); Galvis et al. (1979); Costa (1980); Patarroyo (1990); Hoorn (1993) y Hoorn (1994).

Para el siglo XXI, las investigaciones de la cuenca se incrementaron significativamente debido al continuo apoyo extranjero en materia económica y científica, al naciente interés por el conocimiento de los trópicos y al auge de la corriente conservacionista del llamado “Pulmón del Mundo”. De esta manera, se han publicado diversos estudios; entre estos se destacan las contribuciones en palinología de Berrio et al. (2003); Roddaz, et al. (2005); Hoorn (2005) y

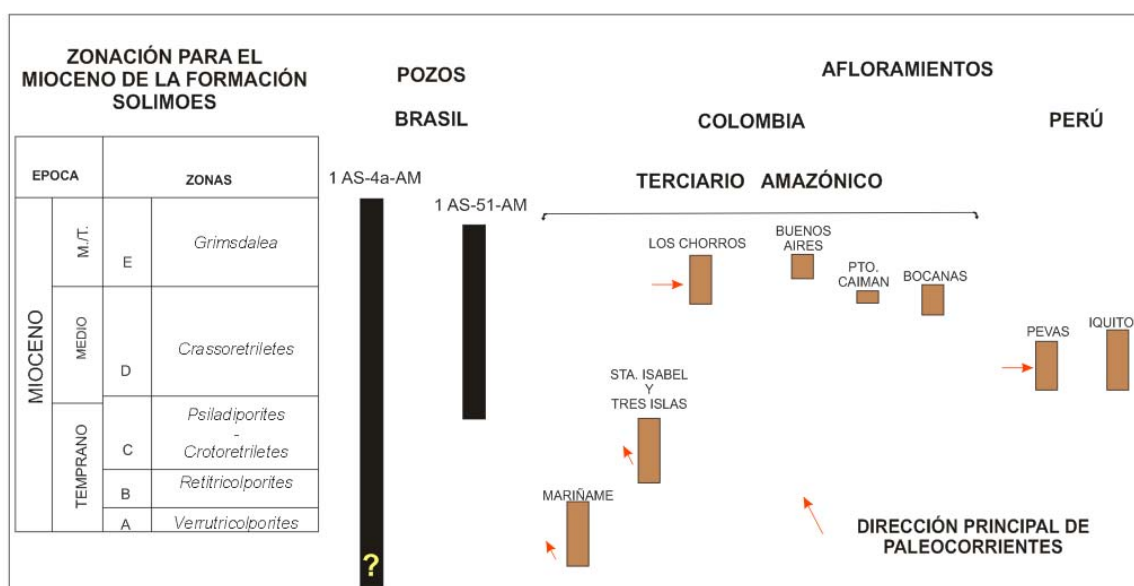
Hoorn (2006). Igualmente a nivel estratigráfico se resaltan los estudios bioestratigráficos de Muñoz-Torres, et al., (2006); Rebata, et al., (2006); y Wesseling, 2006.

En este marco de investigaciones, desarrollado desde diferentes líneas de estudio como son la mineralogía, sedimentología, estratigrafía, geoquímica, tectónica, biología, paleontología y palinología, se logró reconstruir la historia geológica de la Cuenca Amazónica, se caracterizaron los ambientes de las secuencias sedimentarias del Neógeno (Hoorn, 1994; Berrio, et al., 2003; Rebata, et al., 2006; Wesseling, 2006). Especial interés despertaron los eventos del Mioceno asociados a los procesos geológicos desarrollados en la cuenca como consecuencia de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana.

Se elaboraron y refinaron los modelos y zonaciones bioestratigráficas a partir del uso del uso de registros palinológicos y de ostrácodos (Hoorn, 1993; Hoorn, 1994a; Hoorn, 1994b; Torres-Muñoz, et al. 2006). En el caso de la zonación palinológica, esta se realizó a partir de la interpretación del registro sedimentario de dos pozos exploratorios perforados por la compañía CPRM de Brasil, (Pozo 1AS-4a-AM y Pozo 1AS-51-AM). Posteriormente fue utilizada como herramienta de calibración para la caracterización palinológica, la correlación bioestratigráfica y la determinación de edades relativas en diferentes secciones litoestratigráficas de Colombia, Perú y Brasil (e.g. secciones Buenos Aires, Los Chorros, Pevas, Iquitos, Santa Isabel, Mariñame y Tres Islas). (Hoorn, 1994a) (Figura 5).

No obstante, dada la extensión de la Amazonía, la escasez de afloramientos y el difícil acceso, aún existen zonas donde la información geológica es limitada. Este es el caso de la Meseta de Araracuara, al NW de la cuenca, en donde el registro está fragmentado y las secciones estudiadas no se han integrado en un contexto geológico regional.

Además, dentro de este grupo de estudios y publicaciones, pocos relacionan las características palinológicas y geológicas (sedimentarias, estratigráficas, estructurales, geomorfológicas, etc.) del Terciario de la Meseta de Araracuara con las historias de depositación del Mioceno de la Cuenca Amazónica.



**Figura 5)** Correlación entre Pozos 1AS-4a-AM y 1AS-51-AM y afloramientos, Cuenca Amazónica. Modificado de Hoorn, 1993a

Por lo tanto, en este estudio se pretende, principalmente, caracterizar palinológicamente los sedimentos de la Sección Agua Negra y correlacionarlos bioestratigráficamente con la zonación del Mioceno propuesta por Hoorn (1993). Posteriormente, estos datos se relacionarán con datos bioestratigráficos de otras secciones de la Meseta de Araracuara, con el fin de identificar las relaciones temporales y ambientales.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Para la recopilación bibliográfica, se utilizaron los medios y recursos disponibles en la Biblioteca y Base de Datos digital de la Universidad Industrial de Santander, en el Centro de Información Técnica-CIT del Instituto Colombiano de Petróleo-ICP, en la Biblioteca del Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS, en la Biblioteca Earl S. Tupper del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales-STRI; así como varias de las publicaciones disponibles en la Biblioteca del Grupo de Bioestratigrafía del Instituto Colombiano de Petróleo-ICP y del Grupo de Paleoecología del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales-STRI.

### **4.2 ORIGEN Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA**

En el año 1988, TROPENBOS<sup>1</sup> inició una serie de investigaciones multidisciplinarias en el NW de la Amazonia con el objeto de reconstruir la historia depositacional, ambiental y climática de los sedimentos que tradicionalmente se conocían como el “Terciario Amazónico”. Estas investigaciones incluyeron el análisis palinológico de la cuenca con el fin de conocer la edad de los sedimentos, la paleoflora representada en el registro y los paleoambientes asociados.

Como parte del avance de esta línea de investigación, se desarrolló la tesis doctoral de Hoorn (1994), quien levantó y describió la secuencia sedimentaria de una serie de afloramientos en Colombia y Perú a lo largo de los ríos: Caquetá, Amazonas, Apaporis, Agua Negra, Cotuhé y Cahuinari.

Sin embargo, durante la fase de oficina, no todas las secciones estratigráficas levantadas y muestreadas fueron analizadas, entre las que se incluye la sección Agua Negra, la cual dada su cercanía a las Secciones Mariñame y Tres Islas fue descartada en aras al cumplimiento de los objetivos de reconstrucción regional propuestos tanto en la tesis doctoral como en el proyecto de TROPENBOS. No obstante, la información recogida en campo y

---

<sup>1</sup> Tropenbos International (TBI) es una organización no-gubernamental (ONG) con sede en los Países Bajos. Su misión es contribuir a mejorar la gestión forestal para las personas, la conservación y el desarrollo sostenible de los bosques tropicales. <http://www.tropenbos.nl>

las muestras litológicas de la sección Agua Negra se conservaban y fueron facilitadas por Carina Hoorn para la realización de este estudio.

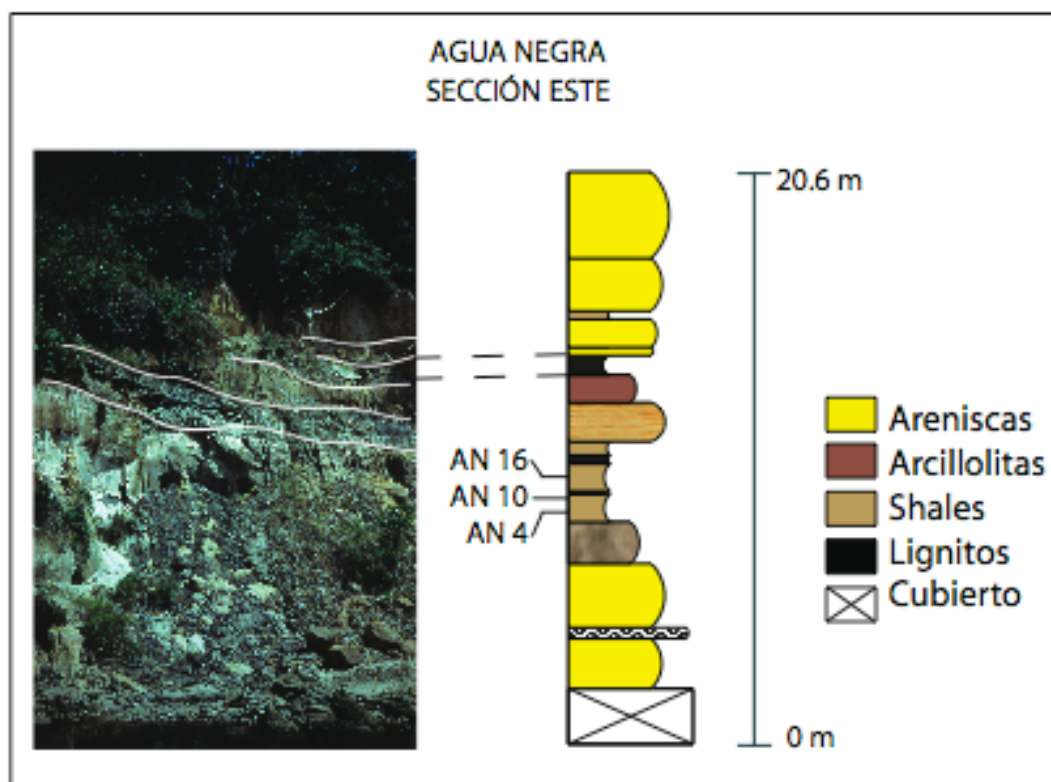
#### **4.2.1. LEVANTAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA**

- **SECCIÓN AGUA NEGRA**

La sección Agua Negra tiene de un espesor de 60 metros, medidos en dos secciones, Este y Oeste, que distan aproximadamente 15m, y cuya relación lateral es indeterminada. A continuación se describe cada de ellas.

##### **SECCIÓN AGUA NEGRA ESTE**

La sección Este de la columna tiene un espesor de 20,6m. (Figura 6). Su base esta marcada por el nivel del cauce del río Agua Negra, hacia los 2m aparecen un potente paquete de areniscas de 6m de espesor, de color gris claro a blanco, estas areniscas son de grano muy fino y presentan cristales de cuarzo flotando en la matriz. Algunos de estos niveles son de areniscas cuarzosas no seleccionadas, con clastos arcillosos de hasta 10cm y con laminillas de micas como accesorio principal, hacia el tope, las areniscas tienen coloraciones moteadas y se acuñan con los niveles limolíticos y arcillolíticos superiores.



**Figura 6)** Columna estratigráfica y afloramiento de la sección Agua Negra Este.

A los 8m, comienza un paquete de 2.9m compuesto por una serie de niveles arcillosos, color marrón claro, intercalados con capas de lignitos, suprayacidos por una capa de 2.4m de areniscas con matriz predominantemente arcillosa. A este nivel pertenecen las muestras que fueron analizadas para la sección Agua Negra Este.

A continuación, se presenta un nivel de 4.7m de espesor, formado por intercalaciones de areniscas con matriz arcillosa y arcillolitas con coloraciones moteadas. Hacia el tope, la sección se hace granocreciente, con un potente paquete de 5m de areniscas de matriz arcillosa.

### SECCIÓN AGUA NEGRA OESTE

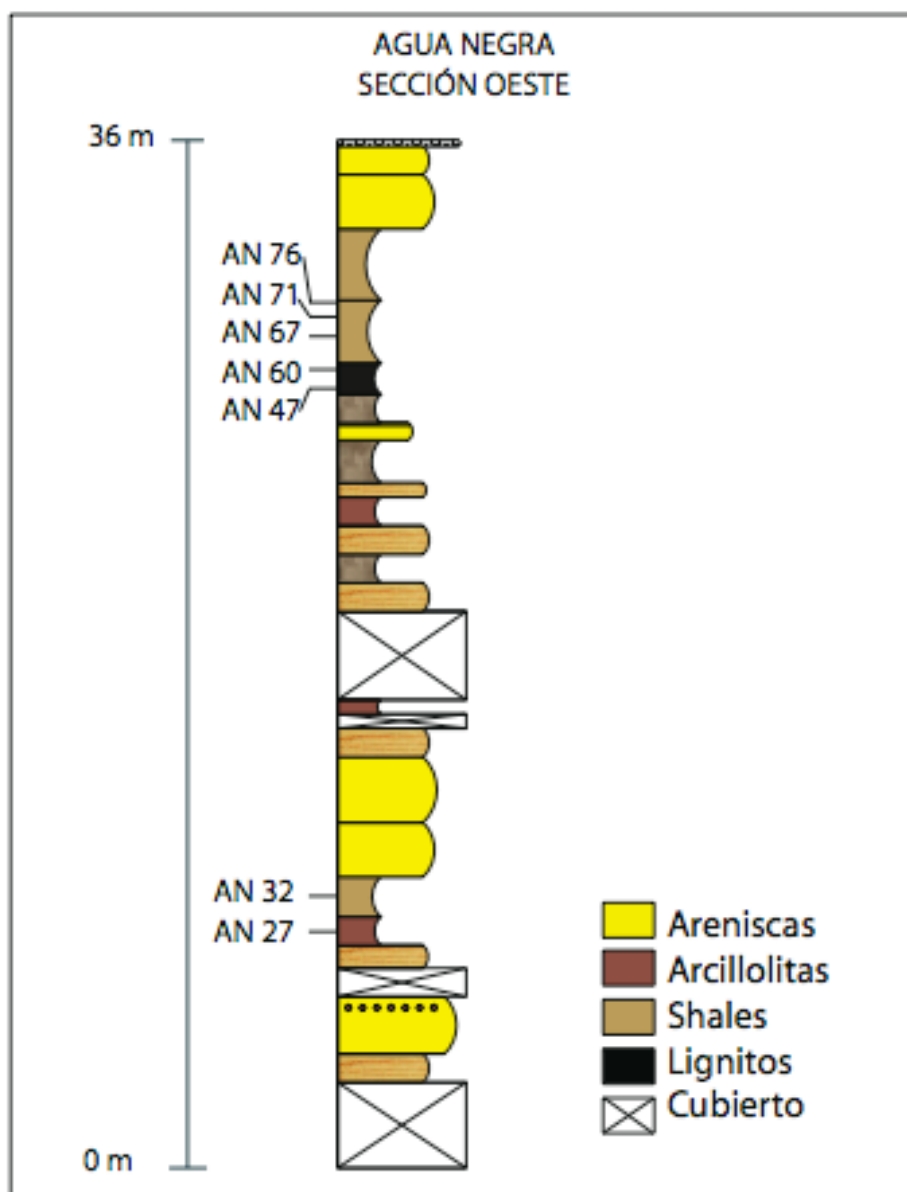
La zona más occidental del levantamiento tiene 36m de espesor (Figura 7). Hacia la parte más basal, en contacto con el río Agua Negra, la sección presenta un cubierto de vegetación de aproximadamente 3m, seguido por una serie de paquetes arenosos granocrecientes, formados por areniscas muy finas de color claro con láminas de arcillolitas en la base y por areniscas subangulares, con clastos de composición cuarzosa flotando en la matriz hacia el tope.

A continuación, nuevamente hay una zona cubierta de 1m, suprayacida por una capa de 0.8m de espesor de areniscas de grano fino, color gris claro, con intercalaciones de capas arcillosas, hacia el tope aparecen niveles de areniscas con nódulos de hierro. Este paquete es seguido por un nivel arcilloso de 2.4m de espesor, el cual hacia la base, es de color gris claro, presenta algunos niveles arenosos y nódulos de hierro, y hacia el tope, es de color marrón claro y contiene cristales de piritita como mineral accesorio. En este nivel se tomaron las dos muestras más basales de la sección Agua Negra Oeste.

Esta secuencia es suprayacida por un paquete granodecreciente de 5.2m de areniscas, que hacia la base son de grano medio y matriz arcillosa y se tornan de grano fino y color blanco hacia el techo del paquete. Este paquete es seguido de un cubierto de 0.5m, y posteriormente por un nivel de 0.5m de arcillolitas con nódulos de hierro.

Suprayaciendo este nivel arcillolítico, se encuentra un cubierto de 3.1m, seguido de un paquete de 6.6m de espesor, constituido por una serie de intercalaciones de areniscas y arcillolitas. En general, los niveles de arcillolitas

tienen coloraciones moteadas y los niveles arenosos son de grano medio, no seleccionados, moteados, con algunas láminas de arcillolitas y presencia de nódulos de hierro, hacia el tope, estas areniscas son bien seleccionadas y presentan bandas de gravas y clastos que flotan en una matriz arenosa.



**Figura 7)** Columna estratigráfica sección Agua Negra Oeste

Este paquete infrayace, un nivel de 6.8m de espesor de arcillolitas color marrón claro moteado, el cual presenta una capa de 1.1m de espesor de lignitos. A este nivel pertenecen seis de las diez muestras palinológicas analizadas. Finalmente hacia el tope, hay un paquete de 2.9m de areniscas de grano fino, suprayacido por un nivel de 0.2m de conglomerados no consolidados.

### **4.3. PALINOLOGÍA**

#### **4.3.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS**

Durante el trabajo de campo de Hoorn en 1991, se colectaron y preservaron 15 muestras litológicas de la sección. Estas 15 muestras se prepararon para recuperación y análisis palinológico, y según la calidad del contenido orgánico, diez de ellas se seleccionadas para ser analizadas al microscopio.

La preparación de las muestras se hizo a través de una acetólisis de Erdtman (1952), según el procedimiento estándar del Laboratorio *Hugo de Vries* de la Universidad de Ámsterdam. Para cada muestra se tamizo 1cm<sup>3</sup> de material a través de una malla de 250µm. Para disgregar las arcillas ricas en materia orgánica se empleó Pirofosfato hidratado de Sodio y agua en una solución al 10% (Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O) y los lignitos se oxidaron con una disolución *Schulze* (2HNO<sub>3</sub>, 60%: KClO<sub>3</sub>, 7%).

Finalmente, se usó Bromoformo de densidad 2.0g/cm<sup>3</sup> para separar la fracción inorgánica y el residuo orgánico resultante fue montado en glicerina y sellado con parafina.

#### **4.3.2. RECUESTO DE PALINOMORFOS**

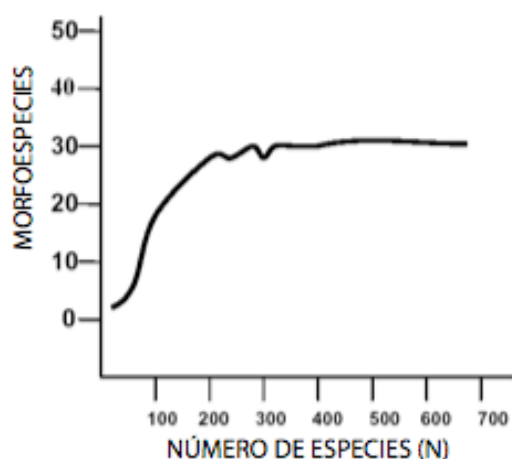
Para realizar el recuento de palinomorfos, preliminarmente se realizó una fase de revisión de morfotipos e identificación taxonómica, con el fin de ajustar los diferentes criterios de caracterización y clasificación palinológica con los bibliográficos y así poder comparar los resultados con la bibliografía en las fases de análisis e interpretación de datos

Una vez analizadas cualitativamente las placas, se procedió con el recuento de especies palinomórficas. Este recuento se realizó en el Instituto Colombiano del Petróleo con un microscopio biológico de luz transmitida *Nikkon Eclipse 200*, utilizando el objetivo de 40X/0.65.

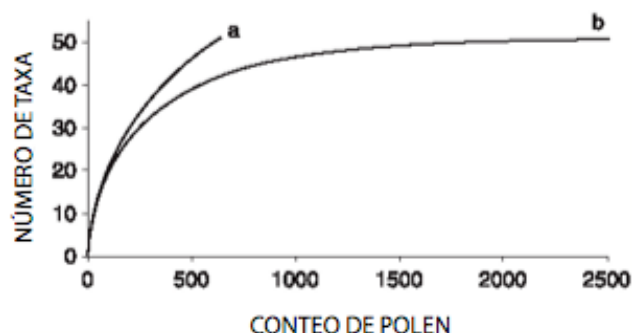
Para la identificación y descripción de los palinomorfos se utilizó un objetivo de 100X/1.25, y, a partir de las características morfológicas descritas en Erdtman (1952), Kremp (1968), Traverse (1988), Punt et al. (1994), se compararon morfológicamente los granos encontrados en cada una de las placas con los descritos y fotografiados en Van der Hammen (1956), Germeraad et al. (1968), Lorente (1986), Roubik & Romero (1991), Hoorn (1994), Jaramillo & Dilcher, (2001), y en la Palinoteca del Instituto Colombiano del Petróleo (2006).

Los palinomorfos no registrados en la bibliografía, pero con características definidas, se enumeraron como tipos, se describieron, fotografiaron e incluyeron en el recuento final. Para la descripción de estos palinomorfos se elaboraron tarjetas de identificación, con su correspondiente dibujo, descripción y coordenadas de localización cartesianas y con la lámina estándar "*England Finder*".

Para la fase de recuento, se barrió toda la placa y se contaron todos los palinomorfos encontrados (polen y esporas) y no sólo los 300 granos de polen sugeridos por Hayek & Buzas (1997), en la curva de acumulación y estandarización de especies (Figuras 8 y 9) (Hayek & Buzas, 1997; Weng, et al., 2006).

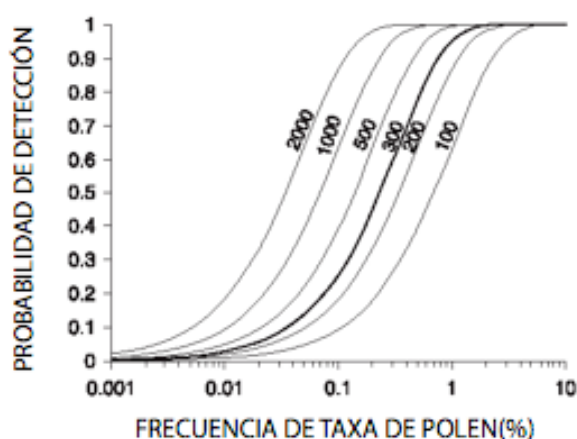


**Figura 8)** Curva de número de especies (S) contra el número de individuos por muestra. Modificado de Hayek & Buzas, 1997



**Figura 9)** Curva teórica del incremento del número de taxa observados en incremento del número de individuos contados. En ambos casos se tiene el mismo número de taxa con una diferencia significativa en el número de individuos contados, indicando un mayor esfuerzo de muestreo en la curva b. Modificado de Weng et al., 2006

Lo anterior, en razón a que esta curva de estandarización de especies desconoce la naturaleza y comportamiento de las especies en los diferentes ecosistemas, obviando que el valor máximo de riqueza de especies es un reflejo del entorno y por lo tanto varía entre hábitats. Para el caso de ecosistemas de gran diversidad como los bosques tropicales, donde existe un alto número de especies raras, hallar este máximo requiere un mayor recuento de individuos (Weng, et al., 2006) (Figura 10).



**Figura 10)** Relación entre la probabilidad de detección de taxa y la frecuencia de polen, para determinados valores de recuento de polen. Modificado de Weng et al., 2006

#### **4.3.3. ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE POLEN**

Un diagrama de polen es una representación gráfica de las abundancias de los taxa contra la posición estratigráfica. Las cartas de distribución permiten visualizar los cambios de cada uno de los palinomorfos presentes en el registro, así como comparar variaciones entre grupos de cierta afinidad paleoecológica. La generación de estas cartas de distribución, se realizó una vez fue terminado el recuento. Para la elaboración de estos diagramas se usó el software STRATABUGS®.

#### **4.4. ANÁLISIS BIOESTRATIGRÁFICO**

El análisis bioestratigráfico se dividió en dos etapas. La primera etapa consiste en el análisis tradicional o directo de la carta de distribución según se registran las presencias y/o ausencias de marcadores bioestratigráficos definidos para la cuenca Amazónica y para otras áreas del Norte de Suramérica, con el fin de identificar rangos bioestratigráficos comunes. La segunda etapa incluye el

análisis bioestratigráfico por métodos cuantitativos (Asociaciones Unitarias) de los datos de la sección Agua Negra contra los reportados por Hoorn, (1993).

### **BIOESTRATIGRAFIA CUANTITATIVA**

La bioestratigrafía es una herramienta útil para la correlación y zonación de estratos sedimentarios basados en fósiles. Sin embargo, dada la naturaleza del registro fósil y su relación con la estratigrafía, es necesario implementar técnicas y procesos de Bioestratigrafía Cuantitativa, que permitan encontrar patrones de datos, minimicen las contradicciones y maximicen la resolución estratigráfica (Hammer et al., 2001).

Estas contradicciones resultan de diferentes factores, independientemente de los problemas relacionados con la identificación taxonómica y el muestreo. Para el caso de la palinología, las causas más recurrentes, según Guex (1991) son:

- La discontinuidad en la sedimentación.
- La preservación selectiva de la materia orgánica y/o la ausencia de fosilización en algunos tipos de rocas, generándose un registro de especies verticalmente incompleto.
- El control biogeográfico y ecológico en la distribución espacial de los taxa.

Teniendo en cuenta estas circunstancias, la fragmentación del registro de la sección Agua Negra y la naturaleza puntual de las muestras, fue necesario aplicar un método cuantitativo que permitiera correlacionar la palinoflora identificada en la sección con las asociaciones palinológicas reportadas por Hoorn (1994) para el Núcleo 1AS-4a-AM y las secciones Mariñame, Tres Islas y Santa Isabel. Según las características de los intervalos de muestreo y la naturaleza de los bioeventos reportados, se escogió el método de las Asociaciones Unitarias definido por Savary & Guex, (1999).

Se escogió como parámetro de correlación inicial el núcleo del Pozo 1AS-4a-AM, ya que a partir de este registro de palinoflora se definió la zonación del Mioceno para la cuenca del Amazonas (Hoorn, 1994a.). Las secciones Mariñame, Santa Isabel y Tres Islas se eligieron debido a la semejanza palinológica que presentan con la sección Agua Negra y su cercanía a la Meseta de Araracuara.

## **ASOCIACIONES UNITARIAS**

Este método propone una zonación bioestratigráfica basada en asociaciones de taxa, las cuales son observados o inferidas como pertenecientes a un mismo lapso de tiempo geológico y NO se tienen en cuenta bioeventos como las primeras apariciones (FAD's) y las últimas apariciones (LAD's), ya que estas son relativas y obedecen al tipo de muestreo, a la naturaleza de la muestra y a los tres factores anteriormente mencionados.

En esencia, este método establece rangos de zonas de coocurrencia, a partir de una secuencia discreta de intervalos de coexistencia de taxa (Alroy, 2000). Es decir, la evaluación de bioeventos a través de las AU, considera no sólo la distribución y abundancia local de las especies, sino también las intersecciones verticales y horizontales<sup>2</sup> de los taxa, por lo que aquellas especies que sólo están reportadas en una sección son descartadas por que no generan patrones de coexistencia, mientras que las comunes son procesadas aleatoriamente para establecer los grupos de sincronía más frecuentes (Alroy, 2000; Mailliot, et al., 2006).

Los pasos básicos seguidos en la aplicación de este método son:

- Remoción de taxa con ocurrencias únicas y/o taxa endémicos, dichos taxa no tienen significado bioestratigráfico ya que no pueden ser comparados entre secciones u horizontes.
- Remoción de taxa cuya ocurrencia se extiende a lo largo de todo el intervalo analizado, estos taxa se eliminan ya que no señalan asociaciones específicas, pues pertenecen a todo el registro.
- Análisis de superposición y coocurrencia entre taxa. Se analizan las relaciones entre taxa y horizontes estratigráficos, se señalan las inconsistencias del registro, los ciclos y circuitos en las ocurrencias de las especies, se eliminan los horizontes estratigráficos con asociaciones idénticas, generando así los Horizontes Residuales que se examinarán posteriormente.
- Determinación de Cliques Máximos. Los cliques son grupos de taxa que coocurren, estos grupos son asociaciones unitarias preliminares que serán procesadas y evaluadas posteriormente.
- Solución de ciclos y circuitos de asociaciones de especies.

---

<sup>2</sup> Entiéndase por intersección Horizontal de taxa la ocurrencia común en dos o más secciones de tiempos isócronos.

- Definición y relación entre cliqués. Una vez analizados los ciclos y circuitos, se redefinen nuevos cliqués.
- Correlación de AU. Establecidas las asociaciones se interpretan las relaciones bioestratigráficas entre ellas y entre los niveles en las que están presentes.

#### **4.5. ANALISIS PALEOECOLÓGICO Y DE BIODIVERSIDAD**

Para el estudio e interpretación se revisaron e identificaron las afinidades botánicas de las morfoespecies. El análisis paleoecológico se basó en la clasificación de palinología y palinofacies para ambientes sedimentarios clásticos propuesta por Lorente (1986) para zonas tropicales. Además, según las afinidades y hábitos ecológicos, se planteó un esquema ambiental para la sección Agua Negra.

##### **4.5.1. MEDIDAS DE LA DIVERSIDAD A NIVEL DE ESPECIES**

La medición de la diversidad a nivel de especies o medida de la diversidad alfa es la cuantificación de la riqueza de especies de una comunidad particular a la que se considera homogénea (Moreno, 2002). El propósito de estos índices es hacer un estimado cuantitativo de la diversidad de una comunidad, basado en una muestra de la misma. Para esto, se requieren recuentos de especímenes que pertenezcan a diferentes taxa dentro de la muestra (Hammer et al., 2001).

En micropaleontología, los índices de biodiversidad son usados para varios propósitos, entre otros: i) Graficar la diversidad como una función de tiempo para identificar eventos y tendencias; ii) Generar indicadores ambientales y geográficos a partir de los valores de diversidad (Hammer et al., 2001).

##### **RIQUEZA S**

Es el número total de especies presentes en una muestra sin tener en cuenta como se distribuyen los individuos entre estas especies, es decir, sin tener presente su valor de importancia (Hayek & Buzas, 1997).

Es la forma más sencilla de medir la biodiversidad (Moreno, 2001), sin embargo la riqueza de especies generalmente se incrementa con el aumento del tamaño de la muestra (Hammer et al., 2001), por lo que es un método que depende del esfuerzo de muestreo y de las características de la población a muestrear.

**S** = Número total de especies

## **RAREFACCIÓN**

Este método mide la riqueza específica (diversidad alfa), permite hacer comparaciones de números de especies entre comunidades cuando el tamaño de las muestras no es igual (Moreno, 2001). Es decir, calcula el número esperado de especies en cada muestra si todas las muestras fueran reducidas a un tamaño estándar, en otras palabras, si la muestra fuera considerada de  $n$  individuos ( $n < N$ ), ¿cuántas especies se habrían registrado?.

La rarefacción es básicamente una técnica de interpolación, que hace posible estimar cuántas especies se habrían encontrado, teniendo como estándar la muestra más pequeña. La técnica se deriva de un análisis de las frecuencias relativas de los individuos por cada especie. (Raup, 1975).

Para su cálculo, se utiliza la fórmula propuesta por Sanders, 1968 (en Raup, 1975), que es una versión modificada de la propuesta por Hurlbert (1971):

$$E(S) = \sum \left\{ 1 - \left[ \frac{N - N_i}{n} \right] \frac{N}{n} \right\}$$

Donde:

- S** = Número de especies en la muestra original
- E(S)** = Número de especies esperado
- n** = Tamaño estandarizado de la muestra
- N** = Número total de individuos en la muestra original
- N<sub>i</sub>** = Número de individuos de cada especie.

La aplicación de este método supone que i) las muestras que se comparan son taxonómicamente similares, ii) El muestreo se realizó siguiendo un proceso estándar, iii) La totalidad de las muestras pertenece a un hábitat similar. (Hammer et al., 2001).

## **ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON – WIENER H**

Este índice, también conocido como índice de entropía, fue derivado independientemente por Shannon y Wiener (en Moreno, 2001) y en él se asume que los individuos, son una muestra al azar de una población infinitamente grande y que todas las especies están representadas en la

muestra (Hammer et al., 2001; Mantilla, 2005). Este índice se calcula mediante la ecuación:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde:

$p_i$  = Proporción de individuos encontrados en las  $i$  especies.

$i$  = Número de especies esperado

En una muestra, el valor de " $p_i$ " es desconocido, pero se estima como " $n_i/N$ ", donde " $n_i$ " es el número de individuos en la " $i$ " especie y " $N$ " es el número total de individuos.

El valor es igual a cero solamente cuando hay una especie en la muestra, y obtiene un máximo valor ( $H' = \ln S$ ) sólo cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos, esto significa que este índice depende tanto de las abundancias relativas como del número de taxones (Hammer et al., 2001; Mantilla, 2005).

### **ÍNDICE DE EQUIDAD DE PIELOU J**

Este índice fue desarrollado por Pielou (1969), con él se valora la equidad de una muestra, entendiendo como equidad a la magnitud con la cual los individuos están igualmente distribuidos entre todas las especies (Hayek & Buzas, 1997). En otras palabras, éste índice describe la variabilidad en abundancia de las especies en una muestra, su distribución o valor de importancia.

Cuando los individuos de una población se distribuyen por igual entre todas las especies, se puede demostrar que " $H' = \ln(S)$ " y en dicho caso esta relación es igual a 1, (Hayek & Buzas, 1997). Con base en una distribución igual, Pielou introdujo la siguiente medida:

$$J = \frac{H}{\ln(S)} = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Donde:

**J** = Índice de Equidad Pielou

**H** = Índice de Shannon-Wiener

**S** = Riqueza

### **ÍNDICE DE UNIFORMIDAD O DOMINANCIA $E$**

Este índice introducido por Buzas & Gibson (1969), es también una medida de equidad, y resulta de eliminar el logaritmo natural (ln), a ambos lados de la ecuación " $H=\ln(S)$ ", se obtiene " $e^H/S$ ".

$$E = \frac{e^H}{S}$$

Donde:

- $E$**  = Índice de Equidad o Dominancia
- $e$**  = Base de los logaritmos naturales
- $H$**  = Índice de Shannon-Wiener
- $S$**  = Riqueza

### **4.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS**

La totalidad del tratamiento estadístico de los datos (Análisis Bioestratigráfico y Paleoecológico) se realizó con el programa PAST (PALaeontological STatistics, Hammer, et al. 2004), el cual es de libre acceso y distribución.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. TAXONOMÍA POLÍNICA

Se encontraron 12298 individuos distribuidos en 112 morfotipos, correspondientes en su totalidad a polen y esporas. Para la Sección Este, se contaron 4381 especímenes distribuidos en 69 morfoespecies, mientras que para la Sección Oeste se contabilizaron 7128 individuos agrupados en 104 morfotipos (Tabla 2).

Se observaron 112 morfoespecies, de las cuales 63 (61.607%) corresponden a formas no descritas en la bibliografía revisada por lo que se consideraron y trataron como “tipos”, las morfoespecies más significativas de este grupo se presentan descritas morfológicamente en el Anexo 3, junto con los morfotipos revisados en la bibliografía.

	<b>Sección Este</b>	<b>Sección Oeste</b>	<b>Total</b>
<b>Nº Total Individuos</b>	4381	7128	11509
<b>Polen</b>	4118 (93.99%)	6358 (89.2%)	10476 (91.02%)
<b>Esporas</b>	263 (6.00%)	770 (10.8%)	1033 (8.98%)
<b>Total Morfoespecies</b>	69	104	112
<b>Morfoespecies “tipo”</b>	31	59	63

**Tabla 2)** Inventario del recuento de palinomorfos sección Agua Negra. Para cada sección se muestran los porcentajes y en la columna total se muestra el porcentaje sobre el recuento total

Se resalta que la sumatoria de las morfoespecies encontradas en cada Sección (Tabla 2), no corresponde con la totalidad de los morfotipos encontrados, debido a la ocurrencia común de varias de éstas morfoespecies en las muestras observadas.

### DIAGRAMAS DE POLEN

La identificación y recuento de los morfotipos en cada una de las láminas palinológicas, permitió construir la carta de distribución de palinomorfos (Anexo 1 y 2), donde se muestra el comportamiento en términos de abundancia de cada morfotipo contra la posición estratigráfica de las muestras.

## **5.2. ANÁLISIS BIOESTRATIGRÁFICO**

Como se mencionó en la metodología, el análisis bioestratigráfico se realizó en dos etapas:

- **ANÁLISIS DE BIOESTRATIGRAFÍA TRADICIONAL:** Revisión directa de datos de presencias y/o ausencias de marcadores bioestratigráficos definidos en la bibliografía con el fin de identificar rangos bioestratigráficos y cronológicos.
- **ANÁLISIS CUANTITATIVO:** Comprende el estudio bioestratigráfico según el método de Asociaciones Unitarias, inicialmente de los datos de la Sección Agua y posteriormente usando en conjunto los datos reportados por Hoorn (1994), para hacer la comparación de las biozonas.

### **5.2.1. ANÁLISIS DE BIOESTRATIGRAFÍA TRADICIONAL O ANÁLISIS DIRECTO**

Esta interpretación se realizó con base en las zonaciones definidas para el Norte de Suramérica por Van der Hammen & Wijmstra, 1964, Germeraad et al., 1968, Wijmstra, 1971, Muller, 1987, Lorente, 1986, Hoorn, 1994 (Figura 11). Con esta revisión se pretendía relacionar el registro sedimentario de Agua Negra con las zonaciones propuestas por medio de la identificación de marcadores y asociaciones específicas. Además se intentó asignar una edad cronológica a la secuencia, según las calibraciones con nanofósiles y dinoflagelados hechas para la región (Figura 11).

El estudio de la carta de distribución, no arrojó ningún rango bioestratigráfico preciso debido a la ausencia de los marcadores específicos, descritos en la bibliografía para el Norte de Suramérica (Figura 11), por lo tanto no se pudo establecer una edad para la sección, ni tampoco una relación directa con las diferentes zonaciones mencionadas.

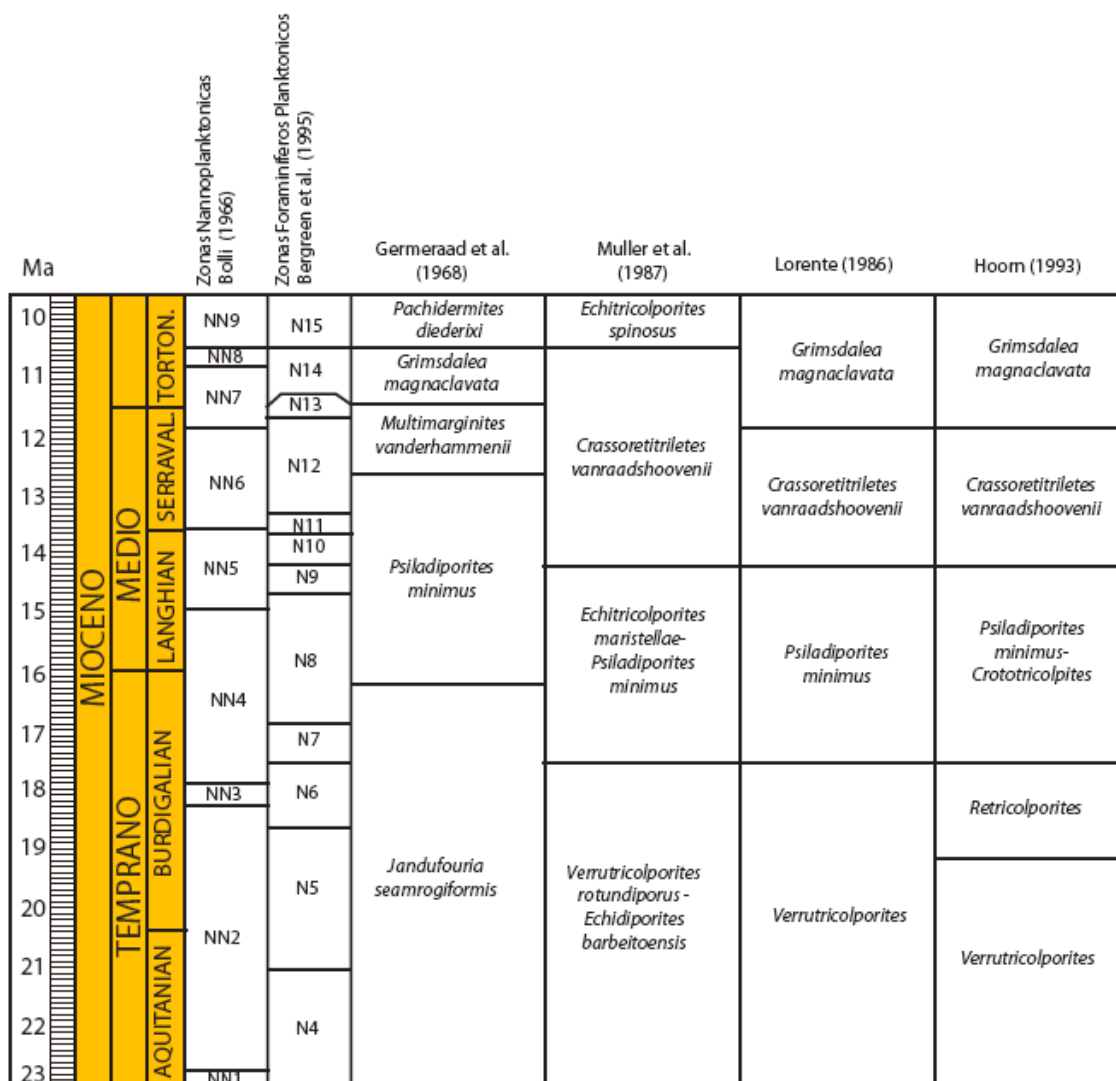


Figura 11) Correlación de las zonaciones palinológicas propuestas para el Mioceno del Norte de Suramérica. Modificado de Leite, 2006

Sin embargo, probablemente la asociación corresponda al Mioceno inferior según el registro de bioeventos como:

- Los FAD's de *Bombacacidites zuatensis* (Lorente, 1986) y *Heterocolpites incomptus* (ECOPETROL-ICP & STRI, 2006) reportados para el Mioceno inferior
- Los LAD's de *Magnaperiporites spinosus* (Dueñas, 1980; ECOPETROL-ICP & STRI, 2006) y *Spirosyncolpites spiralis* (Regali, et al., 1974; Muller, et al.1987; ECOPETROL-ICP & STRI, 2006), registrados en el Micoeno inferior
- La ausencia de marcadores del Oligoceno para el Norte de Suramérica como *Cicatricosisporites dorogensis*, *Retibrevitricolpites retibolus*,

*Foveotriletes ornatus* (ECOPETROL-ICP & STRI, 2005; Jaramillo & Rueda, 2005)

- La ausencia de FAD's de *Echitricolporites spinosus*, *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*, *Multimarginites vanderhammenii*, *Grimsdalea magnaclavata* marcadores típicos del Mioceno medio para Suramérica según las zonaciones propuestas por Lorente (1986), Hoorn (1993), Jaramillo & Rueda (2005) y ECOPETROL-ICP & STRI (2006).

Este análisis de intervalo común, aunque señala un rango de edad para los sedimentos, no se considera como un resultado final dadas las características del muestreo, la fragmentación del registro estratigráfico a lo largo de la sección, las características y continuidad del proceso de sedimentación y el control biogeográfico y ecológico en la distribución espacial de los taxa. (Guex, 1991; Mailliot, et al., 2006). Por lo tanto, se requiere la aplicación de técnicas de Bioestratigrafía Cuantitativa.

#### 5.2.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO

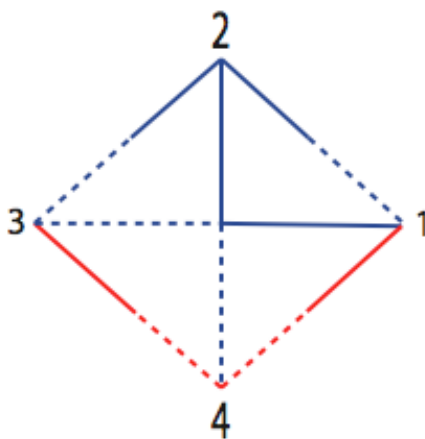
Los resultados obtenidos con este análisis se basan en los conceptos de bioestratigrafía cuantitativa para secciones discontinuas y zonaciones discrecionales propuesto por Guex (1991), y se obtuvieron aplicando el método de Asociaciones Unitarias. Este método se aplicó inicialmente para la sección Agua Negra, con el fin de establecer la relación bioestratigráfica entre las dos columnas levantadas en el área. Posteriormente se aplicó para los datos de la zona reportados por Hoorn,(1994), específicamente para el núcleo del Pozo 1AS-4a-AM y para las secciones Mariñame, Tres Islas y Santa Isabel.

#### Sección Agua Negra

Para este análisis se consideraron la totalidad de los morfotipos reportados en la sección, los cuales se muestran en el Anexo 1 y 2. Se realizó una matriz de niveles estratigráficos contra presencia/ausencia de taxa (Anexo 4) y se corrió el programa PAST.

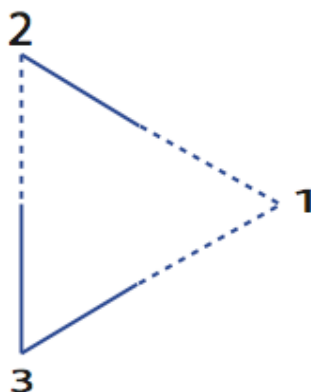
De los 10 niveles inicialmente muestreados, según las asociaciones de taxa se eliminaron dos niveles que eran idénticos en sus asociaciones a otros, por lo que se generaron ocho Horizontes Residuales. A partir de éstos horizontes, se identificaron 4 Cliques Máximos o posibles asociaciones (Figura 12), además se reconocieron dos contradicciones según la presencia de los palinomorfos.

Debido a esta contradicción, se eliminó un cliqué, por lo tanto, finalmente se definieron sólo 3 Asociaciones Unitarias comunes para las dos secciones (Tabla 3), siendo la AU-1 la asociación más inferior y la AU-3 la más superior (Figura 13).



**Figura 12)** Máximos cliqués encontrados para la sección Agua Negra. Las líneas rojas indican relaciones con incertidumbres, las líneas azules indican asociaciones claras. Hacia las líneas punteadas las posiciones estratigráficas son inferiores.

Con base en estas asociaciones, se encontró que la palinoflora de las asociaciones AU-1 y AU-3 era común en ambas secciones; mientras que el grupo de palinomorfos de la AU-2 sólo está claramente definido en la sección Oeste, ya que en la sección Este, ésta asociación sólo se identifica en la última muestra (Muestra AN-16) (Figura 14) (Tablas 4 y 5). Esta ausencia aparente de la AU-2, en la sección Este puede estar relacionada a factores de control paleoecológico o de muestreo, por lo que no puede concluirse que exista un hiato sedimentario o un cambio drástico de ambiente de esta sección.



**Figura 13)** Relación estratigráfica entre las Asociaciones Unitarias de la sección Agua Negra. Líneas punteadas claras indican niveles inferiores, Líneas oscuras indican niveles superiores.

AU-1	AU-2	AU-3	Morfoespecies
			<i>Corsinipollenites</i> aff. <i>Corsinipollenites oculusnoctis</i>
			<i>Psilastephanocolporites schneideri</i>
			<i>Retitricolporites</i> sp.7
			<i>Retitricolpites</i> sp.3
			<i>Syncolpites</i> sp.
			<i>Verrutricolporites</i> sp.
			<i>Stephanocolporites</i> sp.2
			<i>Psilastephanocolporites fissilis</i>
			<i>Psilatriteles</i> sp.
			<i>Retistephanoporites</i> sp.
			<i>Spirosyncolpites spiralis</i>

Tabla 3) Asociaciones Unitarias identificadas en la sección Agua Negra.

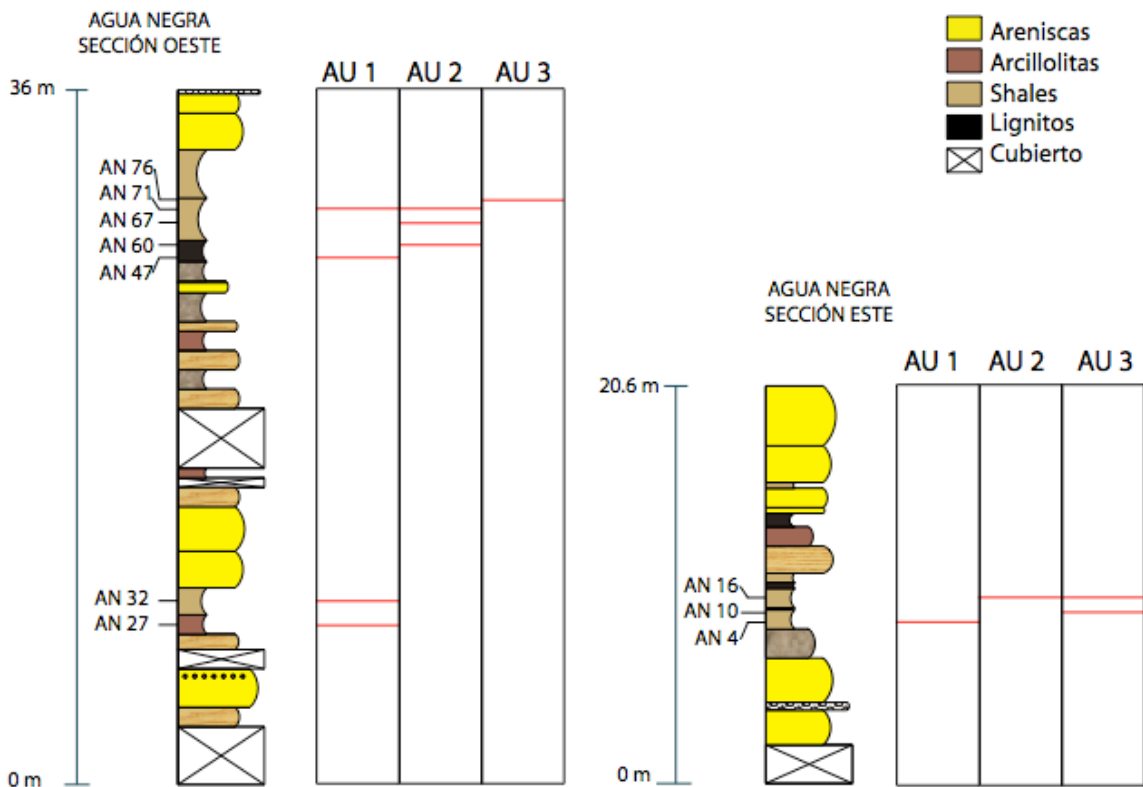


Figura 14) Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias identificadas.

Sección	Posición Estratigráfica	Muestra	Primera AU	Última AU
Agua Negra Oeste	29,8	76	3	3
	29,3	71	1	2
	28,9	67	2	2
	28,3	60	2	2
	27	47	1	1
	9,3	32	1	1
	8,8	27	1	1
Agua Negra Este	10,23	16	2	3
	8,8	10	3	3
	8,1	4	1	1

**Tabla 4)** Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias de la Sección Agua Negra

En cuanto a las dos contradicciones encontradas, éstas no se tienen en cuenta debido a que se presentan entre morfoespecies sólo reportadas en este estudio y en consecuencia se desconoce el valor estratigráfico real.

	Agua Negra Oeste	Agua Negra Este
AU-3		
AU-2		
AU-1		

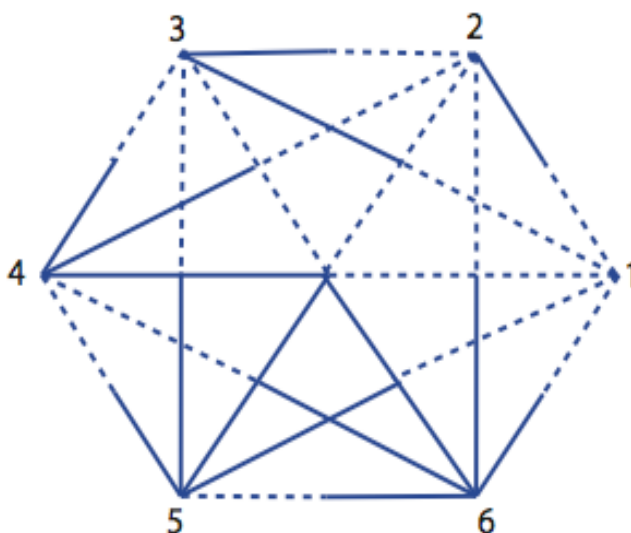
**Tabla 5)** Relación bioestratigráfica de las Asociaciones Unitarias de la Sección Agua Negra. Color Negro indica total certeza de la presencia de la AU

Con base en las asociaciones se define que las secciones Agua Negra Este y Oeste son coetáneas y pertenecen al mismo ambiente, sin embargo su relación estratigráfica lateral no puede ser establecida por medio de la herramienta palinológica debido a la naturaleza puntual del muestreo de los horizontes con recobro y a la similitud que presentan las asociaciones de palinomorfos reportadas a lo largo de toda la sección. Por lo tanto, para su correlación con los reportes del núcleo y las secciones de afloramiento, ambas secciones de Agua Negra deben ser tratadas como secciones independientes.

### Sección Agua Negra contra el núcleo del Pozo 1AS-4a-AM

Para este análisis, se generó la matriz de horizontes contra presencia/ausencia de taxa, a partir de la palinoflora reportada por Hoorn (1994), para el núcleo del Pozo 1AS-4a-AM. De esta manera, los taxa presentes sólo en la Sección Agua Negra se consideraron endémicos y se descartaron del análisis. En esta matriz de datos se organizaron 49 horizontes para el pozo, 7 para Agua Negra Oeste y 3 para Agua Negra Este (Anexo 5).

Con este set de datos se corrió PAST, y se formaron 6 Horizontes Residuales, que generaron 6 Cliqués y 6 Asociaciones; no se encontraron contradicciones entre morfoespecies y asociaciones, por lo que la relación estratigráfica entre las AU es precisa (Figura 15) y a cada nivel estratigráfico pudo asignársele un intervalo de asociaciones definido.



**Figura 15)** Relación estratigráfica entre las Asociaciones Unitarias del Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra. Líneas punteadas indican niveles estratigráficos inferiores, Líneas continuas indican niveles estratigráficos superiores

Definida la relación entre las asociaciones de palinomorfos (Tabla 6), y su presencia en cada horizonte (Figura 16), se generó la tabla de correlación entre Asociaciones Unitarias (Tabla 7 y Tabla 8), en la cual se observa como AU-1, AU-2 y AU-3 son comunes para los niveles inferiores del Pozo 1AS-4a-AM y para la sección Agua Negra.

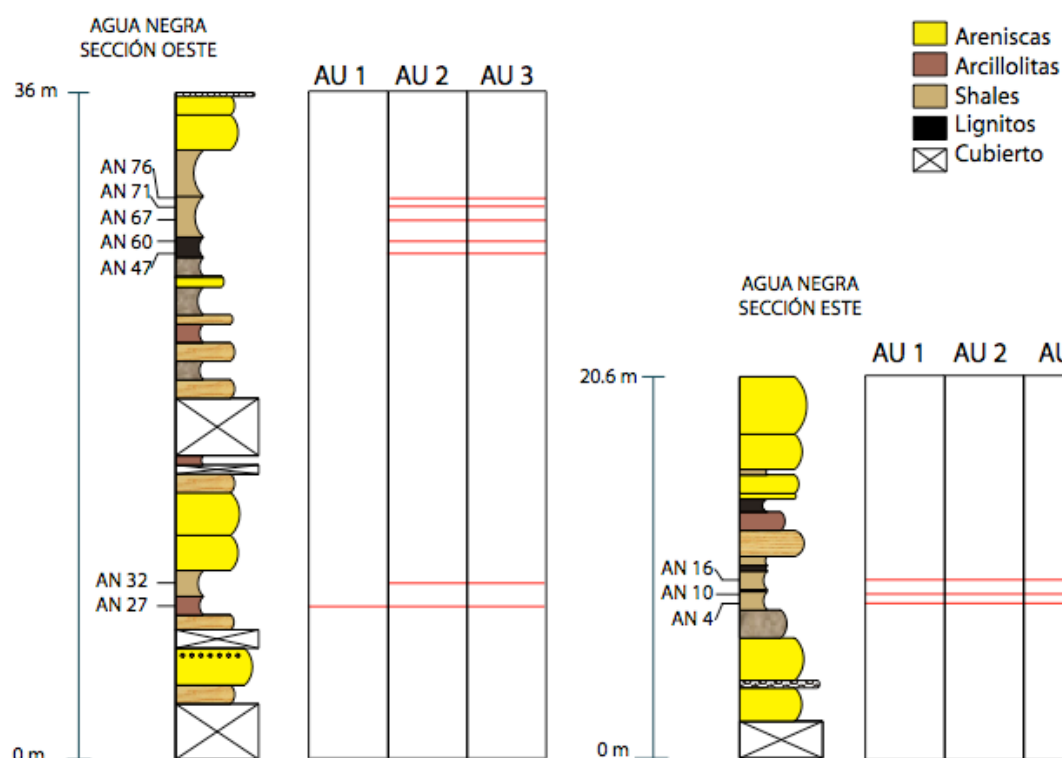
AU-1	AU-2	AU-3	AU-4	AU-5	AU-6	MORFOESPECIES
Yellow						<i>Retitricolporites latus</i>
Yellow	Green					<i>Polyadopollenites mariae</i>
Yellow	Green	Cyan				<i>Psilatroporites corstanjei</i>
Yellow	Green	Cyan				<i>Psilatroporites desilvae</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Rhoipites hispidus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Psilatricolpites acerbus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Psilatricolporites cyamus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Retitricolporites caputoi</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Margocolporites vanwijhei</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Retitricolporites milnei</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Psilaperiporites minimus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Orange		<i>Psilatricolporites magniporatus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Orange		<i>Retitrescolpites? irregularis</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Orange		<i>Retitroporites dubiosus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Orange		<i>Hetecolporites rotundus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Orange		<i>Psiladiporites minimus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Orange		<i>Psilatricolporites devriesii</i>
	Green	Cyan				<i>Spirosyncolpites spiralis</i>
	Green	Cyan	Pink			<i>Podocarpidites sp.</i>
	Green	Cyan	Pink			<i>Echitricolporites spinosus</i>
	Green	Cyan	Pink	Orange		<i>Retitricolporites solimoensis</i>
	Green	Cyan	Pink	Orange	Dark Blue	<i>Psilatricolporites obesus</i>
	Green	Cyan	Pink	Orange	Dark Blue	<i>Crassoretitriletes vanraadshoovenii</i>
	Green	Cyan	Pink	Orange	Dark Blue	<i>Retitricolporites ticuneorum</i>
	Green	Cyan	Pink	Orange	Dark Blue	<i>Bombacacidites baculatus</i>
		Cyan	Pink	Orange	Dark Blue	<i>Ilexpollenites sp.</i>
			Pink	Orange	Dark Blue	<i>Grimsdalea magnaclavata</i>
				Orange		<i>Echiperiporites estellae</i>
					Dark Blue	<i>Bombacacidites lorentae</i>
					Dark Blue	<i>Multimarginites vanderhammenii</i>

Tabla 6) Asociaciones Unitarias identificadas entre el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra

Estas asociaciones mencionadas (AU-1, AU-2 y AU-3), se hallaron en el Pozo 1As-4a-AM, en el mismo intervalo estratigráfico propuesto por Hoorn (1993) para las zonas palinológicas A, B y C (Figura 12), por lo tanto se puede inferir que la edad de los sedimentos de la sección Agua Negra es equivalente a la edad de los sedimentos de las zonas palinológicas A, B y C del pozo, es decir, estos depósitos corresponden al Mioceno Temprano. Sin embargo, dado el rango de incertidumbre en la definición de cada una de las asociaciones no se puede caracterizar a la sección Agua Negra en una zona palinológica específica.

	Pozo 1AS-4a-AM	Agua Negra Oeste	Agua Negra Este
AU-6			
AU-5			
AU-4			
AU-3			
AU-2			
AU-1			

**Tabla 7)** Relación bioestratigráfica de las Asociaciones Unitarias entre el pozo 1AS-4a-AM y la Sección Agua Negra. Color Negro indica total certeza de la presencia de la AU.



**Figura 16)** Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias identificadas para el pozo y la sección.

Sección	Posición Estratigráfica	Muestra	Primera AU	Última AU
Agua Negra Oeste	29,8	76	2	3
	29,3	71	2	3
	28,9	67	2	3
	28,3	60	2	3
	27	47	2	3
	9,3	32	2	3
	8,8	27	1	3
Agua Negra Este	10,23	16	1	3
	8,8	10	1	3
	8,1	4	1	3

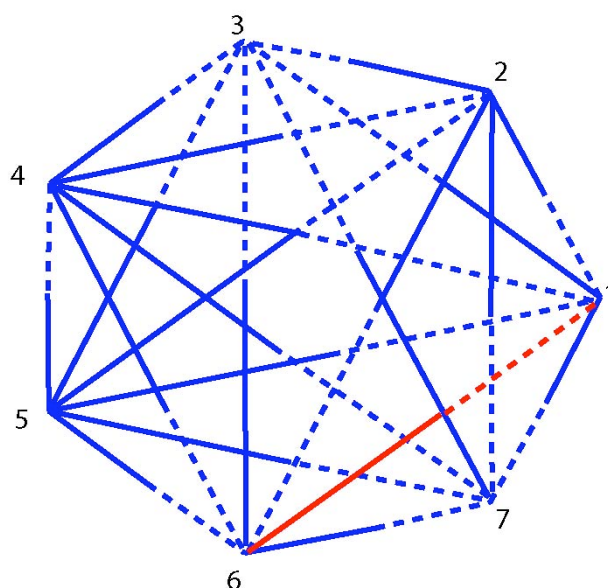
**Tabla 8)** Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias establecidas para el pozo 1AS-4a-AM y la Sección Agua Negra

#### Sección Agua Negra - Núcleo del Pozo 1AS-4a-AM - Afloramientos

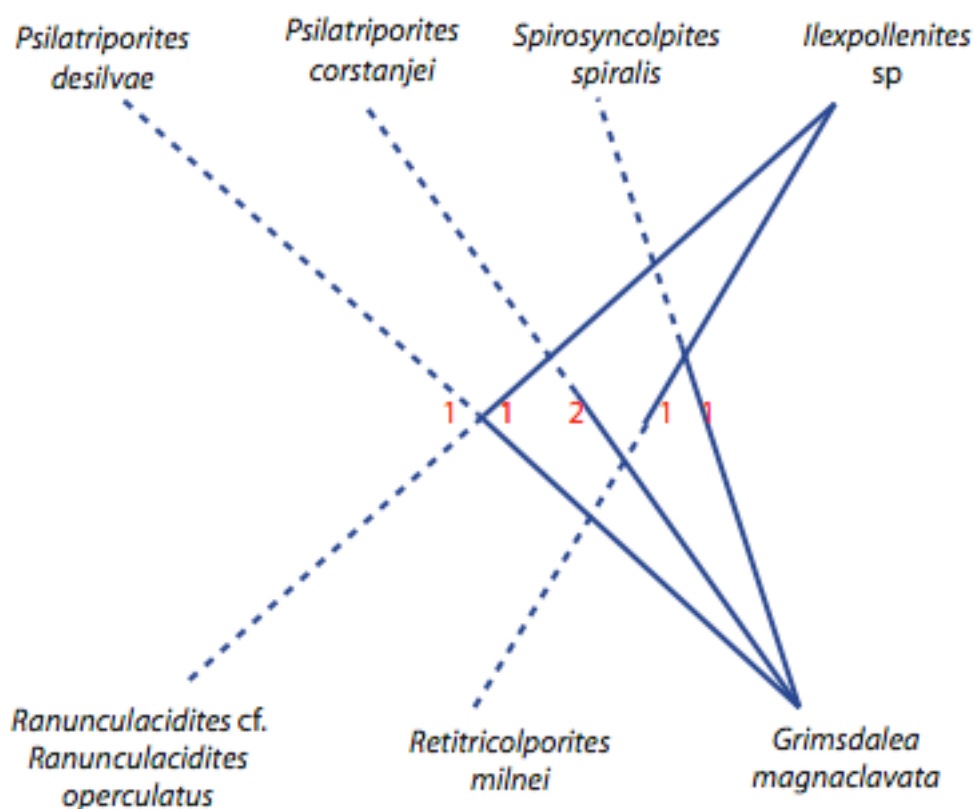
El análisis de los datos de Agua Negra y de los datos reportados para el Pozo 1AS-4a-AM y los afloramientos Santa Isabel, Tres Islas y Mariñame, siguió la misma metodología que el análisis anterior; se generó una matriz de horizontes contra los datos de presencia/ausencia de los taxa, tomando como base la palinoflora reportada por Hoorn (1994), para el núcleo del Pozo 1AS-4a-AM. Para esta matriz los taxa endémicos, es decir aquellos presentes en sólo una de las secciones (Agua Negra, Mariñame, Tres Islas o Santa Isabel), se descartaron del análisis (Anexo 6).

En el análisis se encontraron 16 Horizontes Residuales, a partir de los cuales se generaron 7 Cliques y 6 Asociaciones (Figura 17); durante el análisis se encontró una contradicción entre morfoespecies y asociaciones relacionada con la presencia de *Psilatropites corstanjei*, *Psilatropites desilvae*, *Spirosyncolpites spiralis*, *Ilexpollenites* sp, *Ranunculacidites* cf. *Ranunculacidites operculatus*, *Retitricolporites milnei* y *Grimsdalea magnaclavata* (Figura 18).

Sin embargo, esta contradicción no invalida las asociaciones encontradas para los afloramientos y el pozo (Figura 19), ya que dicha contradicción se presenta entre asociaciones de taxa reportados en los niveles estratigráficos superiores del pozo, correspondientes a las zonas palinológicas D y E de la zonación palinológica propuesta por Hoorn (1993)(Tabla 9).



**Figura 17)** Cliques identificados entre el Pozo 1AS-4a-AM, A y las secciones Mariñame, Tres Islas, Santa Isabel y Agua Negra. La línea roja indica incertidumbre en la relación estratigráfica

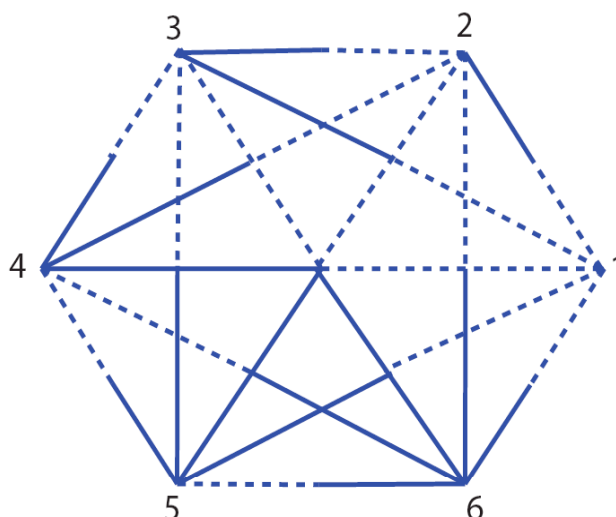


**Figura 18)** Contradicción bioestratigráfica para el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra. Los números indican la cantidad de veces que cada relación ocurre, las líneas punteadas indican niveles bioestratigráficos inferiores.

*Palinología de los Depósitos Fluviales de la Sección Agua Negra  
Implicaciones en la Geología del NW de la Cuenca Amazónica*

AU-1	AU-2	AU-3	AU-4	AU-5	AU-6	MORFOESPECIES
Yellow						<i>Retitricolporites latus</i>
Yellow	Green					<i>Retitricolporites milnei</i>
Yellow	Green					<i>Polyadopollenites mariae</i>
Yellow	Green	Cyan				<i>Rhoipites hispidus</i>
Yellow	Green	Cyan				<i>Psilatroporites corstanjei</i>
Yellow	Green	Cyan				<i>Retitricolporites caputoi</i>
Yellow	Green	Cyan				<i>Psilatroporites desilvae</i>
Yellow	Green	Cyan				<i>Psilaperiporites minimus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Retitricolporites caputoi</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Psilatricolpites acerbus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Margocolporites vanwijhei</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink			<i>Psilatricolporites cyamus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Brown		<i>Psilatricolporites magniporatus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Brown		<i>Retitrescolpites? irregularis</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Brown		<i>Retitroporites dubiosus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Brown		<i>Hetecolporites rotundus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Brown		<i>Psiladiporites minimus</i>
Yellow	Green	Cyan	Pink	Brown		<i>Psilatricolporites devriesii</i>
	Green	Cyan				<i>Spirosyncolpites spiralis</i>
	Green	Cyan	Pink			<i>Podocarpidites sp.</i>
	Green	Cyan	Pink			<i>Echitricolporites spinosus</i>
	Green	Cyan	Pink	Brown		<i>Retitricolporites solimoensis</i>
	Green	Cyan	Pink	Brown	Purple	<i>Psilatricolporites obesus</i>
	Green	Cyan	Pink	Brown	Purple	<i>Crassoretitriletes vanraadshoovenii</i>
	Green	Cyan	Pink	Brown	Purple	<i>Retitricolporites ticuneorum</i>
		Cyan	Pink	Brown	Purple	<i>Bombacacidites baculatus</i>
		Cyan	Pink	Brown	Purple	<i>Ilexpollenites sp.</i>
			Pink	Brown	Purple	<i>Grimsdalea magnaclavata</i>
				Brown		<i>Echiperiporites estellae</i>
					Purple	<i>Bombacacidites lorentae</i>
					Purple	<i>Multimarginites vanderhammenii</i>

**Tabla 9)** Asociaciones Unitarias identificadas entre el pozo 1AS-4a-AM, los afloramientos y la Sección Agua Negra



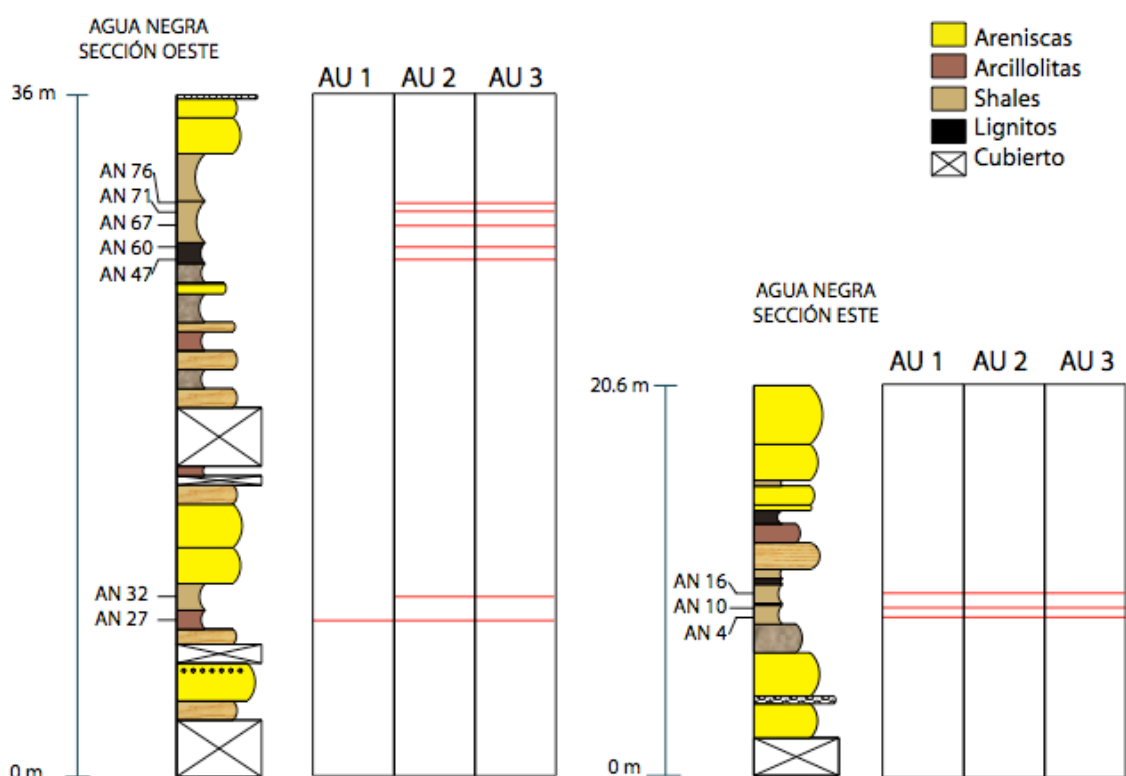
**Figura 19)** Relación estratigráfica entre las Asociaciones Unitarias del Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra. Líneas punteadas indican niveles estratigráficos inferiores, Líneas continuas indican niveles estratigráficos superiores.

Definida la relación entre las asociaciones de taxa y su distribución en cada horizonte (Figura 20), se generó la tabla de correlación entre Asociaciones Unitarias (Tabla 10 y Tabla 11), en la cual se observa como AU-1, AU-2 y AU-3 son comunes en los niveles inferiores del Pozo 1AS-4a-AM y en toda la sección Agua Negra.

Estas asociaciones mencionadas, nuevamente son correlacionables palinológicamente con las zonas A, B y C propuestas por Hoorn (1993) (Figura 11); y como ocurrió anteriormente, no se puede detallar una zona palinológica específica, dado el grado de incertidumbre en la delimitación y ocurrencia de cada asociación a lo largo de la sección Agua Negra.

	Pozo 1AS-4a-AM	Mariñame	Tres Islas	Santa Isabel	Agua Negra Oeste	Agua Negra Este
AU-6						
AU-5						
AU-4						
AU-3						
AU-2						
AU-1						

**Tabla 10)** Relación bioestratigráfica de las Asociaciones Unitarias entre el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra. Color Negro indica total certeza de la presencia de la AU.



**Figura 20)** Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias establecidas para el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra

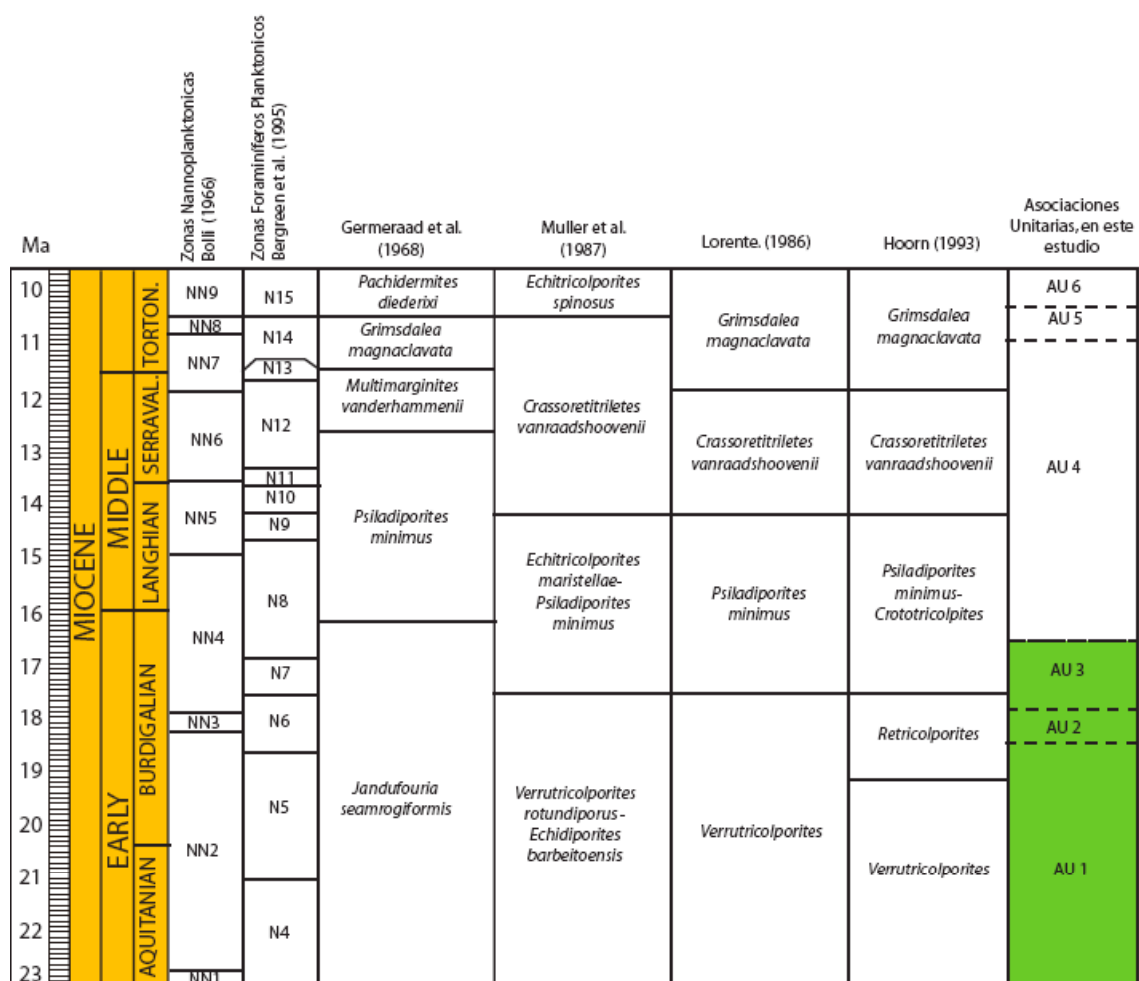
Sección	Posición Estratigráfica	Muestra	Primera AU	Última AU
Agua Negra Oeste	29,8	76	2	3
	29,3	71	2	3
	28,9	67	2	3
	28,3	60	2	3
	27	47	2	3
	9,3	32	2	3
	8,8	27	1	3
Agua Negra Este	10,23	16	1	3
	8,8	10	1	3
	8,1	4	1	3

**Tabla 11)** Correlación de cada nivel estratigráfico con las Asociaciones Unitarias establecidas para el Pozo 1AS-4a-AM y la sección Agua Negra.

Debe precisarse que la relación palinológica establecida a partir del método de Asociaciones Unitarias permite correlacionar bioestratigráficamente los afloramientos y el pozo, sin que ello implique que la relación estratigráfica

(*sensu stricto*) esté claramente definida. Además debe mencionarse, que la correlación con los afloramientos es similar a la encontrada en el análisis anterior (Pozo 1AS-4a-AM y sección Agua Negra) (Figura 15), debido a que en ambos casos se considera como información de referencia la reportada para el pozo.

Significado Bioestratigráfico de las Asociaciones Palinológicas: Con relación a la Zonación Palinológica de la Cuenca Amazónica definida por Hoorn (1993), se puede concretar que según las Asociaciones Unitarias identificadas, la sección comparte la asociaciones definidas para la base del núcleo del Pozo 1AS-4a-AM, y para las secciones de afloramiento. A partir de estas agrupaciones comunes, se concluye que la sección Agua Negra corresponde al Mioceno Temprano; sin embargo, en ningún caso se puede precisar a que zona palinológica pertenece la Sección Agua Negra (Figura 21).



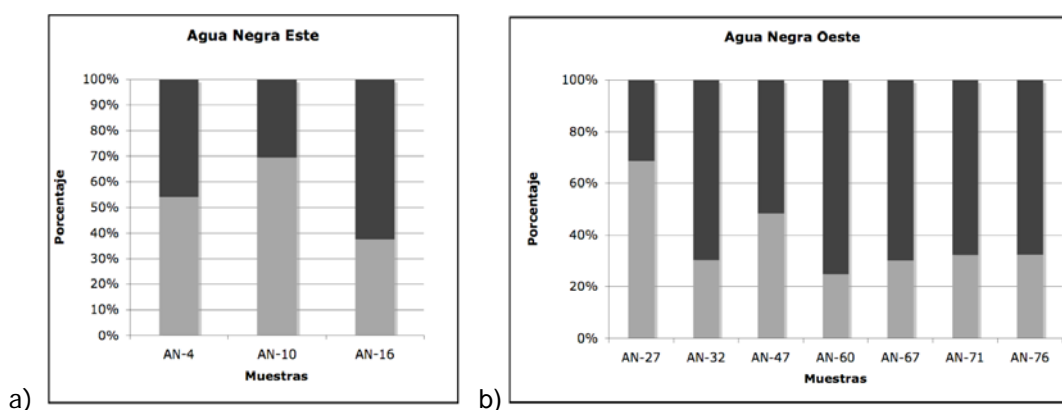
**Figura 21)** Zonaciones palinológicas durante Mioceno para el N de Suramérica y correlación con las AU encontradas. Dado que la duración de cada una de las asociaciones, no tiene una cronología sus límites se presentan en línea punteada. Modificado de Leite, 2006

### 5.3. ANÁLISIS PALEOECOLÓGICO

#### PALEOCOLOGÍA DE LAS ASOCIACIONES PALINOLOGICAS:

El valor paleoecológico de la asociación palinológica se estableció según la afinidad taxonómica y el significado ecológico de las especies propuesto por Lorente (1986) y Marchant, et al., (2002) (Tabla 12). A partir de éstas afinidades se construyeron los diagramas de polen por hábitos ecológicos que permitieron elaborar un esquema del bosque representado en la palinoflora de la Sección Amazónica (Anexo 7 y 8).

Sin embargo, éste análisis según hábitos ecológicos, se realizó sólo con un porcentaje de las especies reflejadas en la palinoflora reportada para ambas secciones debido al alto número de morfoespecies sin afinidad taxonómica encontrados (Figura 22). Comparando las secciones, éste número de morfoespecies sin afinidad es mayor en la sección Agua Negra Este, donde el porcentaje alcanza valores de hasta el 69,4% (Muestra AN-10), contrastando con la sección Agua Negra Oeste que sólo presenta valores similares en una muestra (AN-27), y mantiene un promedio de 33% para el resto de las sección (Figura 22).



**Figura 22)** Porcentaje de morfoespecies palinológicas con afinidad ecológica conocida en: a) Sección Agua Negra Este; b) Sección Agua Negra Oeste

A partir de la afinidad taxonómica, se encontró un mínimo porcentaje (0.51%) de granos de polen asociados a manglares (*Zonocostites*, *Lanagiopollis* y *Rhizoporaceae*), así como la total ausencia de formas marinas como dinoflagelados y foraminíferos, lo cual indica que durante la depositación de los sedimentos de la sección no se registró ningún periodo significativo de incursión marina

*Palinología de los Depósitos Fluviales de la Sección Agua Negra  
Implicaciones en la Geología del NW de la Cuenca Amazónica*

ESPECIES	AFINIDAD TAXONÓMICA	ECOLOGÍA
Retitricolporites caputoi	DESCONOCIDO	
Heterocolpites incomptus	Melastomataceae, <i>Miconia</i>	Bosque húmedo tropical
Psilatricolporites garzonii	DESCONOCIDO	
Ranunculacidites operculatus	Euphorbiaceae, <i>Alchornea</i>	Árboles dominantes en márgenes de ríos. Asociado a las zonas de <i>terra firme</i>
Teracolporopollenites transversalis	Sapotaceae	Árboles de selva tropical
Retitricolpites simplex	Anacardiaceae?	
Laevigatosporites tibuensis	DESCONOCIDO	
Retitricolpites caquetanus	Bombacaceae-Tiliaceae?	Árboles de selva tropical y tierras bajas húmedas.
Verrucatosporites usmensis	Polypodiaceae	Helecho de bosque tropical
Retitricolporites wijmstrae	Sterculiaceae-Tiliaceae	Amplia ecología: bosques húmedos de tierras bajas y bosques secos.
Rhoipites aff. guianensis	Sterculiaceae-Tiliaceae	
Retitrescolpites? Irregularis	Euphorbiaceae, <i>Amanoa</i>	<i>Amanoa</i> es común en suelos lodosos cerca de quebradas y ríos
Psilamonocolpites nanus	Arecaceae	Suelos tropicales y bosques húmedos
Syncolporites poricostatus	Myrtaceae	Arbustos de <i>varzea</i> en bosques húmedos
Psilamonocolpites amazonicus	Arecaceae <i>Euterpe</i>	Amplia ecología: palmas de suelos tropicales y bosques húmedos de 0 a 3000 msnm
Mauritidites franciscoi	Arecaceae <i>Mauritia</i>	
Retitricolpites brevis	Bombacaceae	Árboles de selva tropical polinizados por murciélagos
Heterocolpites verrucoso	Melastomataceae	Lianas de zonas húmedas y pantanosas
Perisyncolporites pokorny	Malpigiaceae	Amplia ecología: predominan en bosques húmedos tropicales, zonas pantanosas y manglares.
Psilatricolporites obesus	Sapotaceae	Árboles de selva tropical
Retitricolporites wijningae	Sterculiaceae-Tiliaceae	Amplia ecología: bosques húmedos de tierras bajas y bosques secos.
Crasiectoapertites colombianus	Fabaceae	Hierbas de amplia ecología: bosques húmedos de tierras bajas y bosques secos.
Psilabrevitricolporites triangularis	Sapindaceae?	Lianas de amplia ecología: prevalecen en bosques húmedos tropicales
Lanagiopollis sp	Rhizophorae <i>Pelliciera</i>	Zonas de manglar
Psilatricolporites aff. magniporatus	Leguminoseae?	Amplia distribución ecológica, comunes en selvas húmedas de tierras bajas
Zonocostites ramonae	Rhizoporaceae	Zonas de manglar
Spirosyncolpites spiralis	Passifloraceae?	Lianas de amplia ecología
Deltoispora adriennis	Pteridaceae, <i>Acrostichum</i>	Pantanos costeros
Psilastephanocolporites schneideri	Rhizoporaceae?	Zonas de manglar
Magnastriatites grandiosus	Parkeriaceae, <i>Ceratopteris</i>	Bosques húmedos y zonas pantanosas costeras
Striatopollis catatumbus	Leguminoseae-Caesalpinioideae	Amplia distribución ecológica, comunes en selvas húmedas de tierras bajas
Ctenolophonidites sp.	Ctenolophonaceae?	Bosques de tierras altas
	Apocinaceae?	Amplia distribución ecológica: bosques húmedos de tierras bajas y bosques secos
Psilastephanocolporites aff. Marinamiensis	Sapotaceae	Árboles de selva tropical
Psilastephanocolporites fissilis	Polygalaceae	Hierbas típicas de praderas
Corsinipollenites aff. oculunocis	Onagraceae, <i>Ludwigia</i>	Hierbas semiacuáticas de bosques estacionales
Perfotricolpites digitatus	Convolvulaceae, <i>Merremia</i>	Plantas, hierbas y lianas de zonas tropicales
Monoporopollenites annulatus	Gramineae, Poaceae	Especies de amplia ecología
Bombacacidites aff. brevis	Bombacaceae	Árboles de selva tropical polinizados por murciélagos
Bombacacidites zuatensis	Bombacaceae	

**Tabla 12)** Afinidad taxonómica y ecológica de las especies encontradas en la sección Agua Negra, según Lorente (1986) y Marchant, et al., (2002). El listado se presenta en orden de abundancia de las especies

Según el hábito paleoecológico se encontró que para la sección Este de Agua Negra, las palmas y las lianas tienen un incremento en la abundancia hacia el tope de la sección, siendo más significativo el incremento de las palmas que el de las lianas. En contraste, los árboles-arbustos presentan un comportamiento variable a lo largo de la sección, una disminución hacia la muestra AN-10 y un incremento de menor intensidad en la muestra más superior (AN-16). Las hierbas, helechos y vegetación asociada a manglares presentan valores similares en toda la sección (Figura 23).

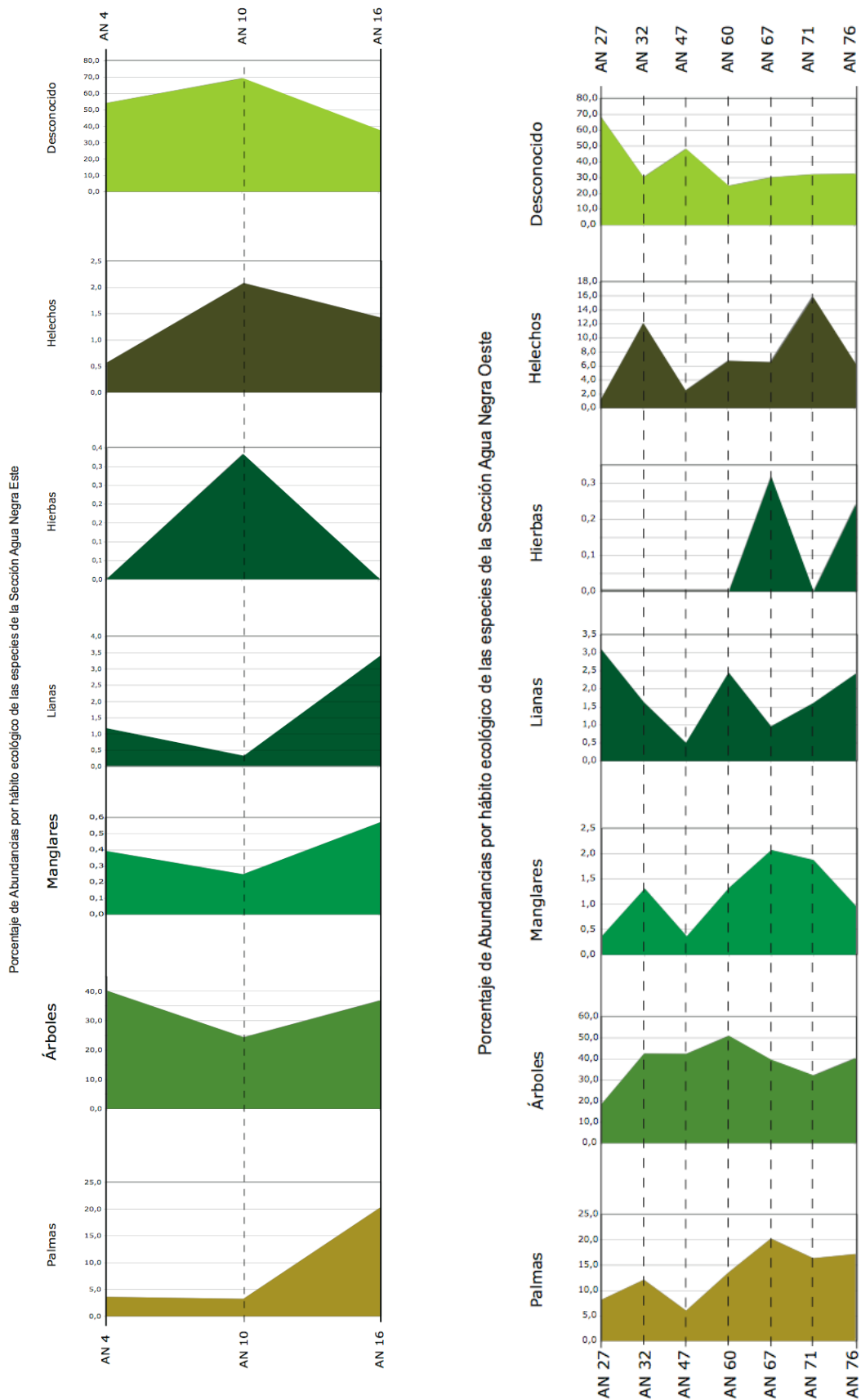
El análisis por hábito para Agua Negra Oeste, señaló un incremento paulatino de la abundancia de las palmas y un comportamiento variable para las especies con hábitos de árboles-arbustos y helechos, mientras que las hierbas, lianas y la vegetación de manglar tienen comportamientos similares en la abundancia en toda la sección (Figura 24).



**Figura 24)** Estructura esquemática de un bosque húmedo tropical

Con estos datos, según los modelos de ambientes sedimentarios propuestos en la clasificación de Lorente (1986), la asociación corresponde con una llanura aluvial asociada a las zonas pantanosas de un bosque húmedo tropical. En éstas llanuras es común encontrar grandes variaciones en las abundancias de los palinomorfos, como ocurre en esta sección (Anexos 1 y 2); además, en la asociación de palinomorfos es usual la presencia de palmas, hierbas y arbustos, asociados a familias como las Asteraceae, Amaranthaceae, Cyperaceae y Chenopodiaceae.

La idea de un bosque tropical de tipo húmedo, se propone a partir de la presencia palinomorfos con afinidad a plantas de hábitos de lianas de familias como las Apocinaceas, Melastomataceas y Sapindaceas (Guariguata & Kattan, 2002).



**Figura 23)** Porcentaje de Abundancias por hábito ecológico de las especies de la Sección Agua Negra Este y Oeste

Este tipo de bosques inundables, se encuentran hacia el continente, detrás de la zona de manglares (Guariguata & Kattan, 2002), (Hacia la zona 2 de la figura 24); esta ubicación, explica la presencia de algunos granos típicos de ambiente salobre como son *Zonocostites*, *Lanagiopollis*, *Deltoispora adriennis*.

En la actualidad, muchos de estos boques inundables son heterogéneos (Guariguata & Kattan, 2002), y se encuentran dominados por varias especies de palmas (Guariguata & Kattan, 2002), características que se observan en el registro palinológico de la sección (Anexos 1, 2, 7 y 8).

### **5.3.1. PERIODOS DE INVASIÓN MARINA**

Durante el Mioceno, la cuenca Amazónica tuvo diferentes eventos de incursión marina, los cuales han sido estudiados desde diferentes disciplinas y han sido documentados para diferentes regiones de la Amazonía (Hoorn, 1994; Hoorn, 1996; Muñoz-Torres et al., 2006; Rebata et al., 2006; Roddaz et al., 2005a; Wesseling, 2006). Sin embargo, para el caso de la sección Agua Negra, el porcentaje mínimo (0.51%) de granos de polen asociados a ambientes de característica salobres como los manglares (*Zonocostites*, *Lanagiopollis*), y la total ausencia de dinoflagelados y foraminíferos, descarta la posibilidad de periodos de invasión marina o de aumentos significativos de salinidad durante la depositación de estos sedimentos.

### **5.3.2. DIVERSIDAD A NIVEL DE ESPECIES**

La aplicación de estos índices de diversidad permite la comparación ecológica de las diferentes muestras de la Sección Agua Negra,

### **RIQUEZA Y RAREFACCIÓN**

Con el propósito de hacer comparaciones entre los diferentes recuentos a nivel de especies se usó el método de rarefacción, estandarizando con un mínimo de 352 individuos, correspondientes al menor tamaño de muestreo (Tabla 13).

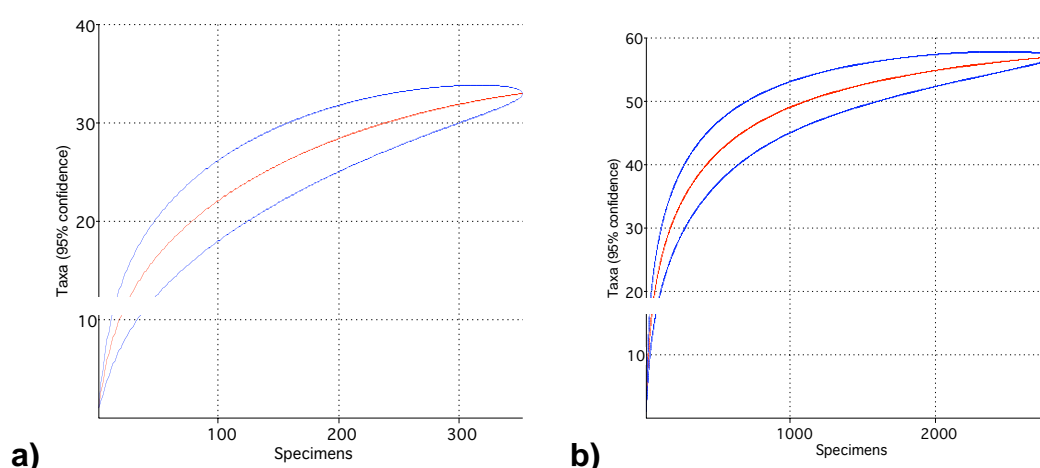
Para nueve de las diez muestras analizadas, se encontró que la Riqueza (R) es mayor (o igual para el caso de la muestra con 352 individuos) (Figura 25.a) a la riqueza obtenida a partir de la rarefacción R (352) (Figura 25.b). De esta manera aunque, en la muestra AN-10 se hayan contado 1227 individuos, al estandarizar, se tiene que la riqueza en especies tiene un valor de 31,8,

constituyendo así la muestra con el valor de riqueza más bajo de toda la sección Agua Negra.

MUESTRA	SECCIÓN	POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA	INDIVIDUOS	RIQUEZA (S)	RIQUEZA R (352)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR R(352)
AN 4	E	8,1	2802	57	38,1145	2,5625
AN 10	E	8,8	1227	41	31,8116	2,0934
AN 16	E	10,23	352	33	33	0
AN 27	W	8,8	1569	52	35,6033	2,4842
AN 32	W	9,3	624	47	40,7899	1,99406
AN 47	W	27	2506	50	35,0638	2,2306
AN 60	W	28,3	986	48	38,188	2,1305
AN 67	W	28,9	644	52	42,656	2,3277
AN 71	W	29,3	384	46	44,5416	1,1308
AN 76	W	29,8	415	35	34,0257	0,91472

**Tabla 13)** Número de individuos, Riqueza (S), Riqueza usando rarefacción (R(352)) para cada una de las muestras de la Sección Agua Negra

La curva de Rarefacción, (Figura 25.b) indica que para el caso de la muestra con mayor recobro (muestra AN-4) el número de taxa esperados con un recuento de 352 especímenes es de 38.1145 (ds: 2.5625).



**Figura 25)** Curva de Rarefacción R(352) con un intervalo de confianza del 95% para: **a)** La muestra Agua Negra 16, Sección Este, n= 352, S=33, R (352)= 33. **b)** La muestra Agua Negra 4, Sección Este, n= 2802, S=58, R (352)=38,1145

### ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON – WIENER *H*

Los valores hallados con el cálculo del índice de Shannon – Wiener *H*, indican una disminución máxima de la diversidad en la muestra AN-10, tendencia que se mantiene en las muestras AN-16, AN-27 y AN-32; mientras que para las muestras siguientes (AN- 47, AN-60, AN-67 y AN-71) éste valor se incrementa indicando una mayor diversidad de las especies. El valor máximo de diversidad se presenta en la muestra AN-60 (Tabla 14). Al comparar la sección Este con la Oeste, en promedio se tienen valores de *H* más altos para la sección Oeste ( $H=2,91$ ), que para la sección Este ( $H=2,763$ ) (Figura 26).

MUESTRA	ÍNDICE DE DIVERSIDAD <i>H</i>		
	CONFIABILIDAD 95%		
	MEDIA	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO
AN 4	3,008	3,428	3,343
AN 10	2,563	3,429	3,306
AN 16	2,719	3,399	3,176
AN 27	2,609	3,428	3,32
AN 32	2,66	3,421	3,251
AN 47	2,924	3,429	3,343
AN 60	3,094	3,429	3,292
AN 67	3,085	3,425	3,254
AN 71	3,065	3,401	3,196
AN 76	2,933	3,413	3,197

Tabla 14) Valores para el índice de diversidad de Shannon-Wiener *H*.

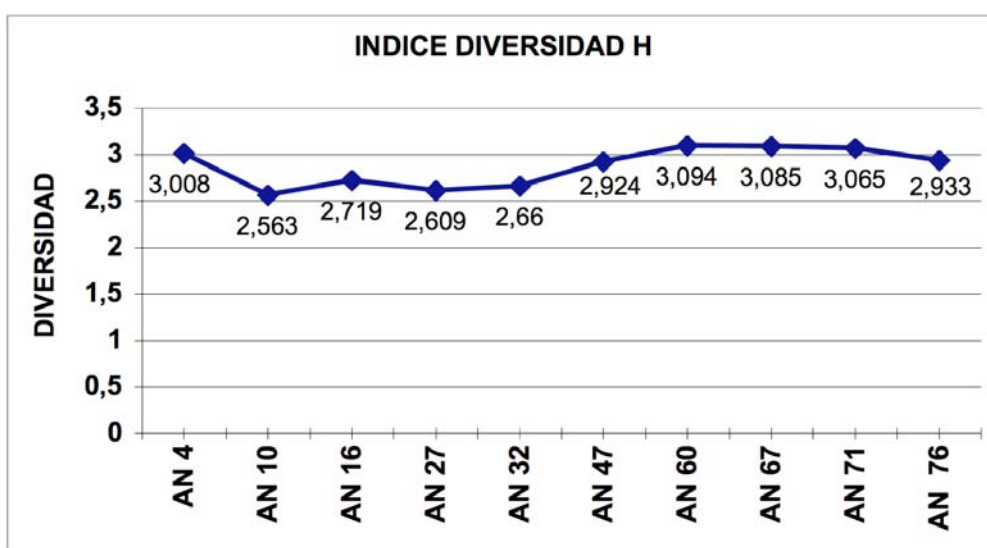


Figura 26) Curva de Diversidad *H* para la Sección Agua Negra

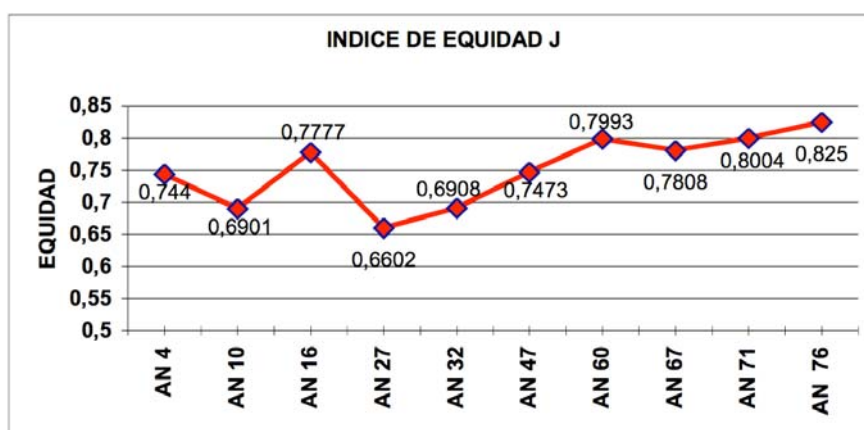
### ÍNDICE DE EQUIDAD DE PIELOU *J*

Se calculó el índice de Equidad *J*, el cual mide el grado de uniformidad de las muestras según las especies presentes, asignando valores entre 0 y 1, siendo 1 el valor de mayor equidad. El cálculo se realizó con un nivel de confiabilidad del 95%, y se encontró que la muestra más homogénea para la sección Oeste es AN-76, con  $J= 0,825$ ; mientras que para la sección Este, la muestra más uniforme es AN-16, con  $J= 0,777$  (Tabla 15).

Comparando los valores promedios de *J*, entre ambas secciones se observa una similitud en el valor del índice de Equidad, ya que para la sección Oeste  $J=0,7577$ , y para la sección Este  $J= 0,7373$  (Figura 27). Lo que indica, que el la distribución de las especies fue bastante similar en ambas secciones.

MUESTRA	ÍNDICE DE EQUIDAD <i>J</i>		
	CONFIABILIDAD 95%		
	MEDIA	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO
AN 4	0,744	0,7866	0,7596
AN 10	0,6901	0,8198	0,786
AN 16	0,7777	0,8729	0,8272
AN 27	0,6602	0,8104	0,7773
AN 32	0,6908	0,8481	0,8089
AN 47	0,7473	0,7909	0,7643
AN 60	0,7993	0,8288	0,7928
AN 67	0,7808	0,8461	0,8098
AN 71	0,8004	0,8686	0,8249
AN 76	0,825	0,8664	0,8207

**Tabla 15)** Valores para el índice de equidad de Pielou *J*.



**Figura 27)** Curva de Equidad *J* para la Sección Agua Negra

### ÍNDICE DE UNIFORMIDAD O DOMINANCIA *E*

Con este índice, al igual que con el índice de Pielou *J*, se obtiene un valor de la equidad o dominancia de ciertas especies dentro de las muestras. El cálculo, así como para el caso del índice de Pielou, se realizó con un nivel de confiabilidad del 95%, y se encontró que la muestra más uniforme para la sección Oeste es AN-76, con  $E= 0,537$ ; mientras que para la sección Este, la muestra más uniforme es AN-16, con  $E= 0,4596$  (Tabla 16). Comparando los valores promedios de *E*, entre ambas secciones se observa un ligero incremento en el índice de uniformidad para las sección Oeste donde  $E=0,4029$ , y para la sección Este  $E= 0,3771$  (Figura 28).

MUESTRA	ÍNDICE DE DOMINANCIA <i>E</i>		
	CONFIABILIDAD 95%		
	MEDIA	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO
AN 4	0,3553	0,3985	0,343
AN 10	0,3164	0,4763	0,4017
AN 16	0,4596	0,6141	0,5084
AN 27	0,2611	0,4543	0,3827
AN 32	0,3041	0,5489	0,4568
AN 47	0,3722	0,4078	0,3532
AN 60	0,4599	0,5006	0,4159
AN 67	0,4206	0,5426	0,4584
AN 71	0,4657	0,6056	0,498
AN 76	0,5368	0,5986	0,4909

Tabla 16) Valores para el índice de Dominancia *E*.

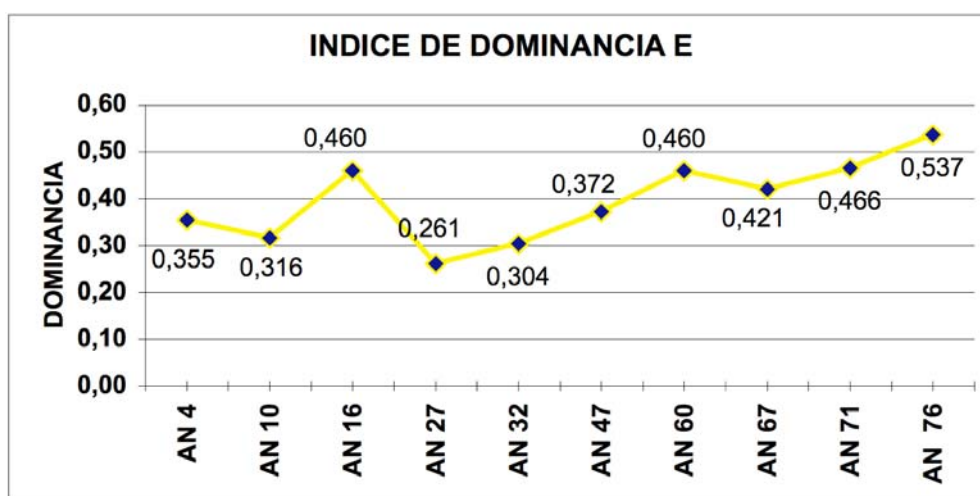


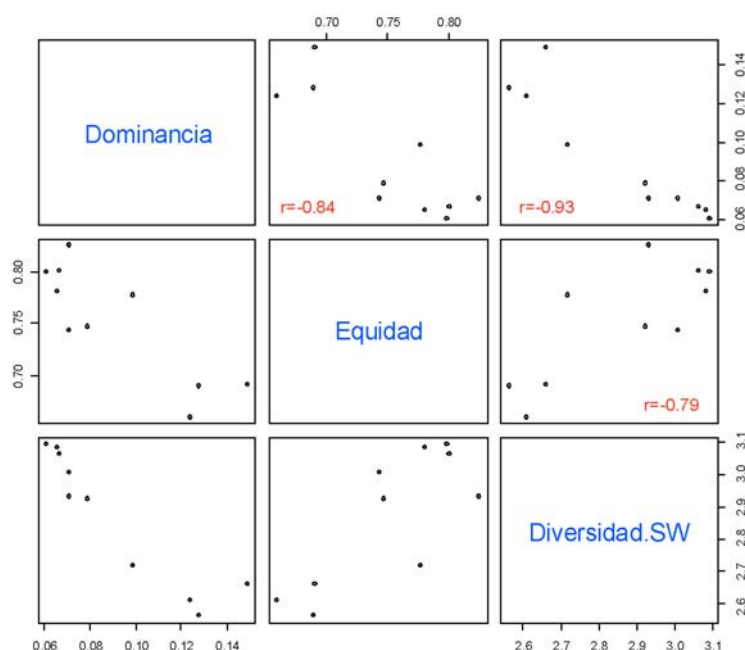
Figura 28) Curva de Dominancia *E* para la Sección Agua Negra

## **CORRELACIÓN DE LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD**

Los valores obtenidos en los índices sugieren la existencia de un boque tropical de tipo heterogéneo (Guariguata & Kattan, 2002). Así mismo, los valores hallados unidos al análisis de variación de los principales taxa reiteran que el registro palinológico de ambas secciones pertenece a ambientes ecológicos uniformes, los cuales, no tuvieron una variación ecológica significativa o perceptible con el estudio de la palinoflora durante la depositación de los sedimentos.

Al hallar los valores de correlación entre los diferentes índices de Shannon-Wiener  $H$ , Pielou  $J$ , y el de Dominancia  $E$  (Figura 29), se encontró que las curvas son congruentes y presentan comportamientos con tendencia lineal. Obteniéndose un coeficiente de correlación de  $-0,79$  entre la diversidad  $D$  y la equidad  $J$ , un valor de  $-0,93$  para la correlación de la dominancia  $E$  y la diversidad  $D$ , y uno de  $-0,84$  entre la equidad  $J$  y la dominancia  $E$  (Figura 29).

Se destaca la caída de diversidad en la muestra AN- 10, y en la muestra AN- 27, así como el gradual incremento en los valores de los índices a partir de la muestra AN- 27. Igualmente, debe resaltarse el comportamiento irregular que presenta la Sección Este en contraste con un comportamiento más uniforme de la Sección Oeste, la cual tiende al incremento de los índices hacia el tope, excepto sólo para el caso del Índice de Shannon-Wiener donde hay una variación de la tendencia debida a un valor menor en la muestra AN-76.



**Figura 29)** Correlación de los índices de diversidad analizados la Sección Agua Negra

## 6. DISCUSIÓN

La sección Agua Negra, según los análisis realizados mediante bioestratigrafía tradicional y bioestratigrafía cuantitativa, es probablemente de edad Mioceno Inferior; corresponde a un ambiente lagunar típico de un bosque húmedo tropical, el cual según la afinidad taxonómica de los palinomorfos, no refleja eventos de incursión marina. Sin embargo, estas conclusiones merecen ser discutidas en virtud de los diferentes procesos implicados en la preservación del registro y de la metodología empleada para su análisis, algunos de los cuales se detallan a continuación.

### 6.1. ANÁLISIS BIOESTRATIGRÁFICO DE AGUA NEGRA

**6.1.1. BIOESTRATIGRAFÍA TRADICIONAL:** Tomando como base las zonaciones propuestas para el Norte de Suramérica por Van der Hammen & Wijmstra, (1964); Germeraad et al. (1968); Wijmstra, (1971); Muller, (1987); Lorente, (1986); y la zonación propuesta para la cuenca del Amazonas por Hoorn, (1994) (Figura 16), y según los datos de primeras y últimas apariciones (FAD's y LAD's) de marcadores bioestratigráficos reportados, se intentó asignar una edad cronológica y establecer una correlación con la zonación.

De este modo, la presencia de bioeventos como el FAD del *Bombacacidites zuatensis* (Lorente, 1986) y los LAD's del *Magnaperiporites spinosus* (Dueñas, 1980; ECOPETROL-ICP & STRI, 2006) y *Spirosyncolpites spiralis* (Regali, et al., 1974; Muller, et al. 1987, ECOPETROL-ICP & STRI, 2006), permitieron señalar como posible intervalo cronológico para la sección el Mioceno Temprano, sin embargo no se pudo establecer relación alguna con la zonación de la cuenca.

No obstante, debido a los procesos desarrollados en el Cuaternario en la Meseta de Araracuara, varios de los afloramientos expuestos se han segmentado y se han convertido en terrazas aluviales jóvenes disectadas por los diferentes cauces fluviales, por lo que, en términos generales, los registros expuestos están fragmentados y, consecuentemente, han perdido información sedimentaria y paleontológica. Así mismo, debido al intervalo de muestreo empleado y a la pérdida de la información palinológica de las cinco muestras

que no fueron leídas en razón a la calidad de su preparación, la conclusión de esta edad requiere de otros métodos para ser validada.

**6.1.2. BIOESTRATIGRAFÍA CUANTITATIVA:** Con la aplicación de las Asociaciones Unitarias, se intentó minimizar el sesgo por muestreo y por fragmentación del registro sedimentario. Con éste método se construyeron tres asociaciones comunes para los dos segmentos de Agua Negra, pero no se pudo detallar la relación lateral entre las dos secciones, debido a la similitud de las comunidades palinológicas a lo largo de ambas secciones. Por lo tanto sólo puede concluirse que ambos registros pertenecen a un mismo ambiente y comparten las mismas asociaciones palinológicas, sin que necesariamente se defina una relación temporal entre ellos.

Estas tres asociaciones unitarias identificadas corresponden con las zonas A (*Verrutricolporites*), B (*Retitricolporites-Rhoipites*), y parte de la C (*Psiladiporites-Crototricolpites*) del Mioceno Inferior, identificadas por Hoorn (1993), para el Pozo 1AS-4a-AM y las secciones Mariñame, Santa Isabel y Tres Islas, por lo que se sugiere como probable edad para Agua Negra el Mioceno Temprano.

Sin embargo, aunque se asignó un intervalo de tiempo para la sección, a partir de las asociaciones definidas, no se puede definir un periodo cronológico más restringido, debido a que la comunidad palinológica reportada no registra cambios evidentes de composición que permitan delimitar más finamente los diferentes horizontes muestreados.

A pesar de que el método de Asociaciones Unitarias (AU) no es una herramienta para asignar edades, en éste estudio, ésta correlación pudo hacerse dado que las zonas palinológicas propuestas para la base del pozo (Hoorn, 1993) coincidieron con las asociaciones de palinomorfos encontradas a través de éste método.

## **6.2. ANÁLISIS PALEOCOLÓGICO Y ESTRUCTURA DEL BOSQUE AMAZÓNICO DEL MIOCENO INFERIOR**

Para el estudio paleoecológico de las asociaciones se estableció la afinidad taxonómica y ecológica de las especies según Lorente (1986), Roubik & Moreno(1991) y Marchant, et al., (2002) (Tabla 12). A partir de dicho análisis se

encontró que el registro está asociado a un sistema fluvio-lacustre, típico de bosques tropicales de tierra firme. En la sección Agua Negra, éste registro está caracterizado por granos de polen como: *Corsinipollenites oculusnoctis*, *Psilabrevitricolporites operculatus*, *Heterocolpites incomptus*, *Heterocolpites verrucosus*, *Lanagiopollis* sp., *Monoporopollenites annulatus*, *Perforitricolpites digitatus*, *Perisyncolporites pokorny*, *Ranunculacidites operculatus*, *Retistephanoporites* sp., *Retitrescolpites? irregularis*, *Retitricolpites simplex*, *Striatricolpites catatumbus*, *Syncolporites poricostatus*, *Tetracolporopollenites transversales*, *Tetracolporopollenites* sp., *Psilastephanocolporites schneideri* y *Zonocostites ramonae*.

En cuanto a la estructura del bosque, según el registro encontrado y la afinidad taxonómica, se propone que para el Mioceno Temprano existía un bosque maduro, estratificado, conformado por sotobosque y dosel, con palmas, arbustos, árboles, hierbas, lianas y helechos, y representantes de familias como Asteraceae, Amaranthaceae, Cyperaceae y Chenopodiaceae (Lorente, 1986).

El análisis de afinidad taxonómica y la total ausencia de dinoflagelados, escolecodontes y foraminíferos señala que no existieron eventos depositacionales de afinidad marina asociados a esta sección. En consecuencia, no se pudo establecer ninguna relación con los procesos marinos reportados para la cuenca Piedemonte-Llanos (Reporte interno ECOPETROL-ICP, 2006).

### **6.3. ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD Y DIVERSIDAD A NIVEL DE ESPECIES**

A partir de los diferentes índices de diversidad aplicados, se encontró consistencia en los datos de diversidad y estructura para las dos secciones. Se destaca, una leve disminución en la diversidad para las muestras de Agua Negra Este (2,763), con relación a las de Agua Negra Oeste (2,91), comportamiento que se mantiene en el análisis de la equidad y uniformidad, según el índice de Pielou J (Agua Negra Oeste=0,7577, Agua Negra Este=0,7373) y el índice de Equidad E (Agua Negra Oeste=0,4029, Agua Negra Este=0,3771).

Esta similitud en los índices explica la cercanía de las diferentes asociaciones unitarias establecidas, y además corrobora la hipótesis de un ambiente común para ambos sectores durante la depositación de la sección. De este modo, las mínimas variaciones de los índices de diversidad y equidad pueden atribuirse a los diferentes procesos involucrados durante la fosilización y al sesgo asociado con el esfuerzo de muestreo.

## 7. CONCLUSIONES

- La asociación palinológica encontrada en la Sección Agua Negra está representada por *Retitricolporites caputoi*, *Heterocolpites incomptus*, *Psilatricolporites garzonii*, *Ranunculacidites operculatus*, *Tetracolporopollenites transversalis*, *Retitricolpites simplex*, *Laevigatosporites tibuensis*, *Retitricolpites caquetanus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Retitricolporites wijmstrae*, *Retitrescolpites? irregularis*, *Psilamonocolpites nanus*, *Syncolporites poricostatus*, *Psilamonocolpites amazonicus*, *Retitricolpites brevis*, *Mauritidites franciscoi franciscoi*, *Mauritidites franciscoi var. minutus*, y *Perisyncolporites pokorny*, asociación que sugiere la presencia de un bosque húmedo tropical.
- El porcentaje mínimo (0.51%) de granos de polen asociados a manglares (*Zonocostites*, *Lanagiopollis* y *Rhizoporaceae*), y la ausencia de foraminíferos, escolecodontes y palinomorfos marinos como los dinoflagelados excluye la posibilidad de periodos significativos de incursión marina durante la depositación de los sedimentos de la sección. La ausencia de estos periodos en el registro descarta la posibilidad de comparar estos eventos con la cuenca Piedemonte-Llanos.
- El bosque reconstruido, a partir del registro, se caracteriza por ser de tipo heterogéneo, húmedo debido a la presencia de lianas (*Heterocolpites verrucoso*, *Psilabrevitricolporites triangularis*, *Spirosyncolpites spiralis*), dominado por palmas (*Mauritia*), sugiriendo un ambiente de características similares a las actualmente encontradas en la Amazonia,
- El registro palinológico de la Sección Agua Negra no muestra grandes cambios paleoecológicos por lo que la correlación por asociaciones palinológicas no presenta cambios significativos que permitan definir la relación lateral entre las secciones Este y Oeste.
- El uso de índices de diversidad y uniformidad en registros fósiles permite conocer la estructura y dinámica de las comunidades paleontológicas según varíen ambientes y factores ecológicos conocidos. Para el caso de Agua Negra, los valores obtenidos señalan una comunidad muy similar en

diversidad y dominancia y por lo tanto se sugiere un ambiente similar durante todo el proceso de depósito de la columna sedimentaria.

- La evaluación del registro palinológico, a partir de índices de diversidad alfa confirma la idea de que la palinoflora encontrada representa en general, un bosque tropical heterogéneo, similar para ambas secciones, por lo que el tratamiento cuantitativo no es lo suficientemente resolutivo.
- El uso de la biostratigrafía tradicional como método de correlación para secciones fragmentadas requiere la implementación de herramientas cuantitativas que eliminen los sesgos asociados al muestreo, la sedimentación, o a los procesos de fosilización.
- El método de Asociaciones Unitarias en el registro palinológico de la Sección Agua Negra señala tres asociaciones comunes con el pozo 1AS-4a-AM. Estas asociaciones, se correlacionan con las zonas palinológicas más inferiores del pozo, y permiten asignar como intervalo de depósito el Mioceno Temprano.
- La correlación de los afloramientos del área descritos por Hoorn (1993 y 1994a) con la Sección Agua Negra, a partir del método de Asociaciones Unitarias señala como periodo de intervalo común el Mioceno Temprano, confirmando el rango establecido sólo con los datos del Pozo 1AS-4a-AM. Así mismo, permite sugerir que el ambiente ecológico fue común para los afloramientos y la sección.

## **8. RECOMENDACIONES**

Aunque la Cuenca Amazónica cuenta con una zonación palinológica para el Mioceno (Hoorn, 1993), se recomienda la revisión de esta zonación teniendo en cuenta nuevos criterios morfológicos y afinidades taxonómicas. Así mismo, se considera que la zonación debe ser calibrada cronológicamente con herramientas como los nannofósiles, permitiendo así, definir claramente los bioeventos interpretados en el registro fósil en una escala más global.

Es importante, reevaluar el carácter bioestratigráfico de varias secciones de afloramiento de la zona, a partir de conceptos de la bioestratigrafía Cuantitativa para así minimizar el sesgo por errores de muestreo, procesos de fosilización, periodos sin depositación, fragmentación de las columnas sedimentarias y variables biológicas como el endemismo o las altas tasas de producción de polen.

La interpretación paleoecológica de los datos palinológicos requiere especial cuidado debido a factores como los bioeventos locales (endemismos), la diversidad de los mecanismos de dispersión y producción polínica, la capacidad de sedimentación y fosilización del material y las técnicas de muestreo.

El tratamiento y análisis de registros palinológicos de zonas tropicales debe seguir procedimientos estandarizados especialmente para éste tipo de áreas donde elementos como la diversidad, el régimen climático, la especiación, juegan papeles importantes en el desarrollo y funcionamiento del ecosistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALROY J., 2000. New methods for quantifying macroevolutionary patterns and processes. *Paleobiology*, 26(4), 707–733

BEHLING, H., BERRIO, J.C. & HOOGHMSTRA, H., 1999. Late Quaternary pollen records from the middle Caquetá river basin in central Colombian Amazon: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 145: 193-213

BERRIO, J.C., 2002. Lateglacial and Holocene vegetation and climatic change in Lowland Colombia, PhD. Thesis, Universidad de Amsterdam, Amsterdam. 240pp

BERRIO, J.C., ARBELÁEZ, M.V., DUIVENVOORDEN, J.F., CLEEF, A.M., HOOGHMSTRA, H., 2003. Pollen representation and sucesional vegetation change on the sandstone plateau of Araracuara, Colombia Amazonia: *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 126: 163 -181

DUEÑAS, H., 1980. Palynology of Oligocene–Miocene strata of borehole Q-E-22, Planeta Rica, Northern Colombia: *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 30: 313–328

ECOPETROL-ICP & STRI, 2005. Proyecto Cronología de Secuencias Bioestratigráficas del Cenozoico del Piedemonte Llanero. Fase 3-Oligoceno. Reporte Final Convenio de Cooperación Tecnológica No. 002 de 2005

ECOPETROL-ICP & STRI, 2006. Proyecto Cronología de Secuencias Bioestratigráficas del Cenozoico del Piedemonte Llanero. Fase 4-Mioceno. Reporte Final Convenio de Cooperación Tecnológica No. 002 de 2005

ERDTMAN, G., 1952. Pollen Morphology and Plant Taxonomy. *Angiosperms. Almqvist and Wiksell*, Stockholm. 539pp

GALVIS, J., HUGUETT, A. & RUGE, P., 1979. Geología de la Amazonía Colombiana: *Boletín Geología*, INGEOMINAS, v. 22: 3-86

GERMERAAD, J.H., HOPPING, C.A. & MULLER, J., 1968. Palynology of Tertiary sediments from tropical areas: *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 6: 189–348

GÓMEZ, E., JORDAN, T.E., ALLMENDINGER, R. W. & CARDOZO, N., 2005. Development of the Colombian foreland-basin system as a consequence of diachronous exhumation of the northern Andes: *GSA Bulletin*, v. 117; no. 9/10: 1272–1292

GRANDSTEIN, F.M, OGG, J.G. & SMITH, A.G., 2004. A Geological Time Scale. Cambridge University Press. 589pp

GUARIGUATA, M. & KATTAN, G., 2002. Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales, Edición LUR, Cap. 3: 59-81

GUEx, J., 1991. Biochronological Correlations. Springer Verlag, Amsterdam. 252pp

HAMMER, O., HARPER, D. & RYAN, P., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis: *Palaeontologia Electronica*, v.4: 1-9

Publicado en internet: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)

HAYEK, L.A. & BUZAS, M.A, 1997, Surveying Natural Populations, Columbia University Press, New York. 563pp

HOLDRIDGE, L.R., GRENKE, W.C., HATHWAY, W.H., LIANG, T. & TOSI, J.A., 1971. Forest environments in tropical life zones, a pilot study: Pergamon Press Oxford. 747pp

HOOGHMIESTRA, H., 1984. Vegetational and climatic history of the high plain in Bogotá, Colombia; A continuous record of the last 3.5 millions years: *Dissertationes Botanicae*, v.79, 386pp

HOOGHMIESTRA, H., 1999. Origin of the Amazonian plant diversity and evolution of conflicting hypotheses on the ice age Amazon. Yale University, New Haven USA.

HOORN, C., 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 105: 267–309

HOORN, C., 1994. Miocene palynostratigraphy and paleoenvironments of northwestern Amazonia: Evidence for marine incursions and the influence of Andean tectonics. PhD tesis, Universidad de Amsterdam, Amsterdam. 156pp

HOORN, C., 1994a. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonas Basin (Early Miocene to early Middle Miocene, Colombia): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 109: 1–55

HOORN, C., 1994b. An environmental reconstruction of the paleo-Amazon River system (Middle–Late Miocene), NW Amazonia: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 112: 187–238

HOORN, C., 1996. Miocene deposits in the Amazonian Foreland Basin: *Science*, v. 273: 122–123

HOORN, C., VONHOF, H.B., 2006. New Contributions on Neogene Geography and Depositional Environments in Amazonia: Introduction to the special issue: *Journal of South American Earth Sciences*. 172pp

HURLBERT, S.H., 1971. The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters: *Ecology*, v. 52: 577-586

JANSONIUS, J., HILLS, L.V., 1976. Genera file of Fossil Spores. Special Publication, Department of Geology, University of Calgary. Calgary, Canadá. Cards 1-3287

JARAMILLO, C.A. & DILCHER, D.L., 2001. Middle Paleogene palynology of central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes: *Palaentographica Abt. B*, v. 258: 87-213

JARAMILLO, C.A. & RUEDA, M., 2006. *Palinoteca Electrónica del Instituto Colombiano del Petróleo- ICP*

JARAMILLO, C.A. & RUEDA, M., 2004. Impact of Biostratigraphy on Oil Exploration., III Convención Técnica ACGGP. La inversión en el conocimiento geológico. ACGGP, Bogotá.

KAANDORP, R.J.G., WESSELINGH, F. & VONHOF, H.B., 2006. Ecological Implications from geochemical records of Miocene Western Amazonian bivalves: *Journal of South American Earth Sciences*, p. 54-74

KREMP, G., 1968. Morphologic encyclopedia of Palynology; An international collection of definitions and illustrations of spores and pollen: University of Arizona press. 263pp

LEITE, F., 2006. Palinología de la Formación Solimoes. Neógeno de la cuenca Solimoes, Estado de Amazonas, Brasil: Implicaciones paleoambientales y bioestratigráficas. PhD. Tesis. Universidad de Brasilia, Brasilia. 128pp

LORENTE, M.A., 1986. Palynology and palynofacies of the Upper Tertiary in Venezuela: *Dissertatione Botanicae*, Band 99: J. Cramer, Berlin, 222pp

MANTILLA, O., 2005. Correlación bioestratigráfica de Foraminíferos Planctónicos en el intervalo Cenomaniano-Turoniano, Cuencas del Putumayo y Catatumbo: Tesis de Pregrado UIS. 89pp

MAILLIOT, S., MATTIOLI E., GUEX J. & PITTET, B., in press. The Early Toarcian anoxia, a synchronous event in the W Tethys? An approach by quantitative biochronology (Unitary Associations), applied on calcareous nanofossils: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

MARCHANT, R., ALMEIDA, L., BEHLING, H., BERRIO, J.C., BUSH, M., CLEEF, A., DUIVENVOORDEDEN, J., KAPPELLE, M., DE OLIVEIRA P., OLIVEIRA-FILHO, A. T., LOZANO-GARCIA, S., HOOGHIEMSTRA, H., LEDRU, M., PRIETO, A., RANGEL, O., SALGADO-LABORIAU, M.L., 2002. Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 121: 1–75

MIALL, A., 1985. Principles of Sedimentary Basin Analysis, Cap. 9: 367-465

MIER, R., 2000. Geología del Petróleo Básica, Publicaciones UIS, Cap. 5: 91-119

MORENO, C. 2002. Métodos para medir la Biodiversidad: M&T – Manuales y Tesis SEA, v. 1. 86pp

Publicado en Internet:: <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>

MULLER, J., de Di Giacomo, E., & Van Erve, A., 1987. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contribution Series*, 19: 7-76

MUÑOZ-TORRES, F.A., WHATLEY, R.C. & VAN HARTEN, D., 2006. Miocene ostracod (Crustacea) biostratigraphy of the upper Amazon Basin and evolution of the genus *Cyprideis*: *Journal of South American Earth Science*, v. 21: 75-86

PATARROYO, P., 1990. Estratigrafía del Terciario Superior Amazónico en los alrededores de araracuara (Amazonas-Colombia): *Colombia Amazónica* v. 4: 127-133

PUNT, W., BLACKMORE, S., NILSSON, S. & LE THOMAS, A., 1994. Glossary of pollen and spore terminology: *Laboratory of Paleobotany & Palynology*, Utrecht, LPP Foundation, v. 1, p.71

RAUP, D.M., 1975. Taxonomic diversity estimation using rarefaction: *Paleobiology*, v. 1: 333-342

REBATA, L.A., MURRAY G., RÄSÄNEN, M.E. & BARBERI, M., 2006. Tidal channel deposits on a delta plain from the Upper Miocene Nauta formation, Marañon Foreland Sub-basin, Peru: *Sedimentology*, v. 53: 971-1013

REGALI, M., UESUGUI, N., & SANTOS, A., 1974. Palinología dos sedimentos Meso-Cenozoicos do Brasil: *Boletim Técnico da Petrobras*, v. 17: 177-191

RODDAZ, M., VIERS, J., BRUSSET, S., BABY, P. & HERAIL, G., 2005a. Sediment provenances and drainage evolution of the Neogene Amazonian foreland basin: *Earth and Planetary Science Letters* v. 239: 57-78

RODDAZ, M., BABY, P., BRUSSET, S., HERMOZA, W. & DARROZES, J.M., 2005b. Forebulge dynamics and environmental control in western Amazonia: the case study of the Arch of Iquitos (Peru): *Tectonophysics*, v. 399: 87–108

ROUBIK, D.W. & MORENO, J.E. 1991. Pollen and Spores of Barro Colorado Island. Missouri Botanical Garden. v 36, 268pp

SAVARY, J. & J. GUEX., 1999. Discrete Biochronological Scales and Unitary Associations, 241pp

TOUSSAINT, J-F., 1999. Evolución Geológica de Colombia: Ed. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 207pp

TRAVERSE, A. 1988, Paleopalynology, Unwin Hyman. 600pp

VAN DER HAMMEN, T. & WIJMSTRA, T.A., 1964. A palynological study on the Tertiary and the Upper Cretaceous of British Guyana: *Leidse Geologische Mededelingen*, v. 30: 183–241

VAN DER HAMMEN, T., 1956. A palynological Systematic Nomenclature, Boletín Geológico Vol. 4: 63-101

WENG, C., HOOGHIEMSTRA, H. & DUIVENVOORDEN, J.F., 2006. Challenges in estimating past plant diversity from fossil pollen data: statistical assessment, problems and possible solutions: *Journal of Diversity and Distributions*, v. 12: 310-318

WESSELINGH, F.P., 2006. Molluscs from the Miocene Pebas Formation of Peruvian and Colombian Amazonia. *Scripta Geologica*, v 133: 19-290

WIJMSTRA, T.A., 1971. The palinology of Guyana coastal basin. PhD tesis, Universidad de Amsterdam, Amsterdam. 63pp

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- <http://folk.uio.no/ohammer/past/>
- <http://www.tropenbos.nl>





### ANEXO 3

La palinoflora encontrada en la sección Agua Negra, fue organizada sistemáticamente según los nombres propuestos por Jansonius & Hillis (1976), y Roubick & Moreno (1991) y se presenta agrupada según sus características botánicas en *Esporas pteridofitas*, *briofitas* y *licofitas*, *Polen de Gimnospermas* y *Polen de Angiospermas*. Para esta organización los palinomorfos se compararon morfológicamente con los descritos y fotografiados en Germeraad et al. (1968); Lorente (1986); Roubik & Romero (1991); Hoorn (1994); Jaramillo & Dilcher, (2001), y en la Palinoteca del Instituto Colombiano del Petróleo (2006).

Los granos descritos en la bibliografía se presentan con su referencia, y aquellos que no fueron asociados con ninguna descripción y se consideraron como tipos se describen a continuación. La identificación y descripción de estos palinomorfos se hizo según las características morfológicas descritas en Erdtman (1952); Kremp (1968); Traverse (1988); Punt *et.al.* (1994); y

#### ORGANIZACIÓN SISTEMÁTICA PALINOFLORA AGUA NEGRA

##### ESPORAS PTERIDOFITAS, BRIOFITAS Y LICOFITOS

Género *Deltoidospora* (Miner, 1935)

- *Deltoidospora adriennis* (Potonie & Gelletich, 1933; Frederikse, 1983)

Lámina 1-1

Género *Laevigatosporites* (Ibrahim, 1933)

- *Laevigatosporites tibuensis* (Van der Hammen, 1956)

Lámina 1-2

Género *Magnastriatites* (Van der Hammen, 1964)

- *Magnastriatites grandiosus* (Dueñas, 1980)

Lámina 1-3

Género *Psilatriteles* (Van der Hammen 1954; Potonié, 1956)

- *Psilatriteles* sp.

Lámina 1-4

Placa: Agua Negra 67 England Finder: G36/2

Espora mónade, simple, radialmente simétrica, ámbito angular triangular recto, trilete de tamaño medio, esclerina laevigada de 1-2  $\mu\text{m}$ , diámetro lateral de 16-18  $\mu\text{m}$ .

Género *Polypodiaceiosporites* (Potonie, 1956)

- "*Polypodiaceiosporites* sp. 1" (Informal Ecopetrol-ICP)

Género *Verrucatosporites* (Pflug & Thomson en Thomson, 1953)

- *Verrucatosporites usmensis* (Van der Hammen, 1956; Germeraad et al., 1968)

Lámina 1-5

Género *Verrucatotriteles* (Van Hoeken-Klinkenberg, 1964)

- *Verrucatotriteles* sp.

Lámina 1-6

Placa: Agua Negra 27 England Finder: V37/1

Espora trilete, simple, heteropolar, radialmente simétrica, ámbito triangular recto. Laesura llega hasta el borde, con labrum. Esclerina verrugada, verrugas de diferentes tamaños, distribuidas por toda la espora, tamaño máximo de verruga es 2  $\mu\text{m}$ . Tamaño de la espora varía entre 17-19  $\mu\text{m}$ .

Género *Zlivisporis* (Pacltová, 1964)

- *Zlivisporis* sp.

Placa: Agua Negra 71 England Finder: G44/4

Espora trilete, simple, simetría radial, forma circular. Laesura simple, larga, llega hasta el borde. Esclerina reticulada en la cara distal y psilado en la cara proximal, las lúminas son de diferentes tamaños, decrecen hacia el borde. Espora con cingulum de 5  $\mu\text{m}$ . Tamaño de la espora medido es 55  $\mu\text{m}$ .

## POLEN DE ANGIOSPERMAS

Género *Bombacacidites* (Couper, 1960 & Krutzsch, 1970)

- *Bombacacidites aff. Bombacacidites brevis* (Dueñas, 1980 & Muller, et.al., 1987)

Lámina 1-7

- *Bombacacidites zuatensis* (Lorente, 1986)

Lámina 1-8

Género *Crasiectoapertites* (Dueñas, 1980)

- *Crasiectoapertites colombianus* (Dueñas, 1980)

Lámina 3-33 y Lámina 3-34

Género *Corsinipollenites* (Nakoman, 1965)

- *Corsinipollenites aff. oculusnoctis* (Thiergart, 1940; Nakoman, 1965)

Género *Ctenolophonidites* (Couper, 1960 & Krutzsch, 1970)

- *Ctenolophonidites sp.*

Lámina 1-10 y Lámina 1-11

Placa: Agua Negra 10 England Finder:F32/2

Grano de polen, mónade, isopolar, simetría radial, oblado, forma esferoidal, tectado, éxina gruesa, psilado a escabrado, stephanocolpado, colpos con margo gruesos 2µm, que forman anillos dobles alrededor del colpo.

Género *Echiperiporites* (Van der Hammen & Wimstra, 1964)

- *Echiperiporites akanthos* (Van der Hammen & Wimstra, 1964)

Lámina 2-13 y Lámina 2-14

Género *Heterocolpites* (Van der Hammen, 1956)

- *Heterocolpites incomptus* (Hoorn, 1993)
- *Heterocolpites verrucosus* (Hoorn, 1993)

Lámina 1-9

Género *Inaperturopollenites* (Pflug & Thomson, 1953)

- *Inaperturopollenites* sp.

Lámina 1-14

Placa: Agua Negra 60 England Finder: S36/2

Grano de polen, mónade, isopolar, simetría radial, ámbito y forma circular, tectado, sexina > nexina, éxina reticulada homobrocada, columelas visibles, tamaño de grano medido es 32µm.

Género *Lanagiopollis* (Morley, 1982)

- *Lanagiopollis* sp.

Lámina 2-15

Placa: Agua Negra 47 England Finder: Q42/1-3

Grano de polen, mónade, isopolar, simetría radial, ámbito circular, tectado, sexina > nexina, éxina de 1-2µm, ornamentación verrucada, las verrugas son abundantes y se distribuyen a lo largo de todo el grano. Tricolpado, colpos cortos 3µm, con margo, area polar grande 14µm. Diámetro ecuatorial de 24-26µm.

Género *Magnaperiporites* (Kedves, 1982)

- *Magnaperiporites spinosus* (Gonzalez, 1967)

Lámina 3-27 y Lámina 3-28

Género *Mauritiidites* (Van Hoeken-Klinkenberg, 1964)

- *Mauritiidites franciscoi* var. *franciscoi* (Van der Hammen, 1956; Van Hoeken Klinkenberg, 1964)
- *Mauritiidites franciscoi* var. *minutus* (Van der Hammen & Garcia, 1966)

Lámina 2-16

Género *Monoporopollenites* (Meyer, 1956)

- *Monoporopollenites annulatus* (Van der Hammen, 1954; Jaramillo & Dilcher, 2001)

Lámina 2-17

Género *Monosulcites* (Meyer, 1956)

- *Monosulcites* sp.

Lámina 2-18

Placa: Agua Negra 4 England Finder: J44/4

Grano de pollen, mónade, simetría bilateral, contorno circular, tectado, sexina>nexina, exina de 1µm, algunas columelas visibles, ornamentación verrucada, las verrugas se distribuyen a lo largo de todo el grano, monosulcado, abertura larga, con margo, bordes redondeados y forma cóncava. Diámetro ecuatorial medio 40µm.

Género *Perfotricolpites* (González Guzmán, 1967)

- *Perfotricolpites digitatus* (González Guzmán, 1967)

Lámina 2-19

Género *Perisyncolporites* (Germeraad, Hopping & Muller 1968)

- *Perisyncolporites pokorny* (Germeraad, Hopping & Muller 1968).

Lámina 2-20 y Lámina 2-21

Género *Psilabrevitricolporites* (Van Der Kaars, 1983)

- *Psilabrevitricolporites triangularis* (Van der Hammen & Wimstra, 1964).

Lámina 2-24

Género *Psilamonocolpites* (Van der Hammen, 1954; Garcia de Mutis, 1965)

- *Psilamonocolpites amazonicus* (Hoorn, 1993)

Lámina 2-25

- *Psilamonocolpites* aff. *Psilamonocolpites amazonicus* (Hoorn, 1993)

- *Psilamonocolpites nanus* (Hoorn, 1993).

Lámina 2-26

Género *Psilastephanocolporites* (Leidelmeyer, 1966)

- *Psilastephanocolporites fissilis* (Leidelmeyer, 1966)

Lámina 3-29a y Lámina 3-29b

- *Psilastephanocolporites* aff. *Psilastephanocolporites matapiorum* (Hoorn, 1993)

- *Psilastephanocolporites schneideri* (Hoorn, 1993)

Lámina 3-30

- *Psilastephanocolporites* aff. *Psilastephanocolporites schneideri* (Hoorn, 1993)

Lámina 3-31

- *Psilastephanocolporites* sp.

Lámina 3-32

Placa: Agua Negra 76, England Finder: N42/1

Grano de polen, simetría radial, isopolar, oblado, ámbito elíptico, tectado, éxina delgada 1-2 $\mu$ m, columelas no visibles, psilado, estephanocolporado, colpos cortos 5-6 $\mu$ m, costados y terminados en punta, endoporos costados y vestíbulados, de 1 $\mu$ m de ancho. Diámetro polar promedio de 30 $\mu$ m.

Género *Psilatricolpites* (Pierce, 1961)

- *Psilatricolpites* aff. *Psilatricolpites papilioniformis* (Regali, et. al, 1974)

Lámina 3-35

- *Psilatricolpites* sp.

Lámina 4-36

Placa: Agua Negra 4, England Finder: M43

Grano de polen, mónade, isopolar, simetría radial, contorno circular a triangular convexo, tectado, éxina delgada 1-1,5 $\mu$ m, sexina ligeramente más gruesa que la nexina, columelas cortas <1 $\mu$ m, ornamentación psilada a micropitted homobrocada, tricolpado, colpos largos 13 $\mu$ m, costados, con puntas redondeadas, área polar pequeña 5 $\mu$ m. Diámetro ecuatorial medido 28 $\mu$ m.

- *Psilatricolpites* sp.1

Placa: Agua Negra 47, England Finder: Q45/2

Grano de polen, mónade, simetría radial, isopolar, prolado, forma elíptica, ligeramente acutado, tectado, éxina delgada 1µm, no se distingue la estratificación claramente, columelas indistintas, psilado a ligeramente escabrado, tricolpado, colpos largos 20µm, con margo delgado <1µm y terminaciones en punta, área polar media. Diámetro ecuatorial medido 23µm.

Género *Psilatricolporites* (Van der Hammen, 1956; Pierce, 1961)

- *Psilatricolporites crassoexinatus* (Hoorn, 1993)
- *Psilatricolporites garzonii* (Hoorn, 1993)  
Lámina 4-37
- *Psilatricolporites aff. Psilatricolporites magniporatus* (Hoorn, 1993)
- *Psilatricolporites obesus* (Hoorn, 1993)
- *Psilatricolporites sp.*

Placa: Agua Negra 67, England Finder: J43/1

Grano de polen, mónade, isopolar, ámbito circular a triangular angular convexo, éxina gruesa <2µm, atectado, psilado a escabrado, colporos simples, colpos simples, endoporos circulares con un ligero engrosamiento hacia el borde, area polar grande, Diámetro polar medido 22µm.

- *Psilatricolporites sp.1*

Lámina 4-38 y Lámina 4-39

Placa; Agua Negra 32, England Finder: U39/4

Grano de polen, mónade, simetría radial, isopolar, prolado, ligeramente acutado, contorno elíptico en vista ecuatorial, exina gruesa <3µm, sexina mas gruesa que la nexina, tectado, columelas no visibles, escultura psilada a finamente escabrada, tricolporado, colpos largos 19µm, costados, terminados en punta, constrictos hacia el Ecuador. Endoapertura lalongada (3µm) con una costa delgada, área polar pequeña, tamaño medio 25µm.

Género *Ranunculacidites* (Sah, 1967)

- *Ranunculacidites operculatus* (Van der Hammen & Wymstra, 1964; Jaramillo & Dilcher 2001)

Lámina 4-40

#### Género *Retimonocolpites* (Pierce, 1961)

- *Retimonocolpites* sp.

Lámina 4-41

Placa; Agua Negra 67, England Finder: G35/4

Grano de polen, mónade, simetría bilateral, heteropolar, prolado, acutado, contorno elíptico, exina delgada 1µm, semitectado, escultura reticulada, tamaño grande 45µm, monocollado, colpo simple ubicado en la periferia del grano.

#### Género *Retistephanocolporites* (Van der Hammen & Wimstra, 1964)

- *Retistephanocolporites* sp. 1

Lámina 4-42

Placa: Agua Negra 71, England Finder: M45

Grano de polen, mónade, simetría radial, isopolar, prolado, contorno elíptico, exina delgada 1µm, semitectado, séxina<nexina, escultura microreticulada, a reticulada homobrocada, en algunos granos el retículo decrece hacia el Ecuador, estefanocolporado, colpos largos con margen, terminados en curva, endoapertura costadas y lalongada

#### Género *Retistephanoporites* (Gonzalez Guzmán, 1967)

- *Retistephanoporites* sp.

Lámina 4-43

Placa: Agua Negra 47, England Finder: N41/2

Grano de polen, mónade simetría radial, isopolar, oblado, contorno circular, exina de 1,5µm, semitectado, ornamentación reticulada, el tamaño de la lúmina crece hacia la periferia, lúmina 1-1,5µm, estefanoporado, endoapertura ligeramente costada. Tamaño promedio de grano 30µm.

Éste grano se distingue de *R minutiporus*, por que la costa de los poros es menos pronunciada. Se diferencia de *R. angelicus* por el tamaño de los poros y la variación de la reticulación hacia la periferia.

- *Retistephanoporites sp. 1*

Lámina 4-44

Placa Agua Negra 76, England Finder: 31/2

Grano de polen, mónade, simetría radial, isopolar, contorno circular, éxina de 1µm, semitectado, escultura reticulada heteroboracada, lúminas de gran tamaño hasta 1,5µm, estefanoporado, poros costados de 3 µm, tamaño de promedio de grano 20µm.

#### Género *Retitrescolpites* (Sah 1967)

- *Retitrescolpites? irregularis* (Van der Hammen & Wymstra, 1964; Jaramillo & Dilcher, 2001)

Lámina 4-45 y Lámina 4-46

#### Género *Retitricolpites* (Van der Hammen, 1956; Pierce, 1961)

- *Retitricolpites brevis* (Dueñas, 1980)
- *Retitricolpites caquetanus* (Hoorn, 1993)

Lámina 4-47 y Lámina 4-48

- *Retitricolpites simplex* (Gonzalez Guzmán, 1967)

Lámina 5-50

- *Retitricolpites sp.2*

Lámina 5-51 y Lámina 5-52

Placa: Agua Negra 10, England Finder: E37/4

Grano de polen, simetría radial, isopolar, forma circular a subprolada, contorno elíptico, en vista polar, éxina muy gruesa 3µm, la sexina es más gruesa que la nexina, columelas largas 1µm, simplibaculado, semitectado, ornamentación reticulada, homobrocado, lúmina <1µm. Tricolpado, algunos granos son tricolporados, colpos largos y costados con puntas redondeadas, área polar grande.

Este morfotipo tiene gran variación en el tamaño, promedio de tamaño 35µm.

#### Género *Retitricolporites* (Van der Hammen 1956; Van der Hammen & Wilmstra, 1964)

- *Retitricolporites caputoi* (Hoorn, 1993)

Lámina 5-53 y Lámina 5-54

- *Retitricolporites oblatius* (Hoorn, 1993)
- *Retitricolporites santaisabelensis* (Hoorn, 1993)
- *Retitricolporites wijmstrae* (Hoorn, 1993)
- *Retitricolporites wijningae* (Hoorn, 1993)
- *Retitricolporites sp.*

Lámina 5-55 y Lámina 5-56

Placa: Agua Negra 10, Engald Finder: Q43/2

Grano de polen, simetría radial, isopolar, subprolado a circular, contorno circular a elíptico en vista ecuatorial, ámbito circular. Éxina entre 1-1,5µm, bien estratificada, la sexina es más gruesa que la nexina, columelas cortas, ornamentación reticulada a finamente perforada hacia el Ecuador. Tricolporado, algunos granos son estefanocolporados, colpos de tamaño medio (12-15µm), con margo, poro simple equidimensional (2µm), el poro presenta opérculo, área polar media. Tamaño medio de grano 20µm.

Género *Retitriporites* (Ramanujam, 1966)

- *Retitriporites sp.1*

Lámina 5-57

Placa Agua Negra 4, England Finder: L29/3

Grano e polen, simetría radial, isopolar, contorno circular a subtriangular, éxina bien estratificada, sexina es más gruesa que la nexina, columelas distinguibles (1µm), semitectado, ornamentación reticulada heterobrocada, la lúmina aumenta de tamaño hacia el apocolpio (2µm). Triporado, poros redondeados (2-3µm) con anulo muy grueso (3µm). Tamaño medio de 20µm.

Éste grano difiere de *R. crassianulatus* (Lorente, 1986) en el tamaño del grano y en el tamaño de la lúmina y las baculas.

- *Retitriporites sp.2*

Lámina 5-58 y Lámina 5-59

Placa: Agua Negra 4, England Finder: W40

Grano de polen, radialmente simétrico, isopolar, contorno subtriangular a circular, éxina bien estratificada, sexina es más gruesa que la nexina, tectado, se distinguen las columelas (1µm). Escultura reticulada, lúmina de 1µm, ligeramente heterobrocado, lúmina decrece hacia el apocolpio. Triporado, poros redondeados (2µm), con anulo muy grueso (2-3µm).

- *Retitriporites sp.3*

Lámina 5-60 y Lámina 5-61

Placa: Agua Negra 32, England Finder: C38/4

Grano de polen, radialmente simétrico, isopolar, contorno circular, éxina bien estratificada muy gruesa (4µm), sexina es más gruesa que la nexina, tectado, se distinguen las columelas, (2µm), bibaculado Escultura reticulada, heterobrocado, lúmina máxima de 2µm, lúmina decrece hacia los poros. Triporado, poros redondeados (2µm), con anulo muy grueso (2-3µm).

Éste grano difiere de *R. dubiosus* (Dueñas, 1967) en el tamaño del grano.

#### Género *Rhoipites* (Wodehouse, 1933)

- *Rhoipites aff. guianensis* (Van Der Hammes & Wimstra, 1964)

Lámina 6-64 y Lámina 6-65

*Rhoipites aff. hispidus* (Van Der Hammes & Wimstra, 1964)

#### Género *Spisosyncolpites* (González, 1967)

- *Spirosyncolpites spiralis* (González, 1967)

Lámina 6-68

#### Género *Stephanocolporites* (Van der Hammen, 1954)

- *Stephanocolporites sp.1*

Lámina 6-66

Placa: Agua Negra 4, England Finder: P39

Grano de polen, simetria radial, isopolar, prolado, contorno elíptico, en vista ecuatorial, éxina de 1µm, estratificada, la sexina es más gruesa que la nexina, columelas cortas <1µm, tectado, ornamentación escabrada a ligeramente verrucada. Heterocolporado, colpos largos, con margo y con

terminaciones en puntas, endoapertura corta ligeramente lalongada, de forma ovalada, área polar media. Tamaño de grano medio 25µm

Género *Striatricolpites* (Van der Hammen, 1956; González Guzmán, 1967)

- *Striatricolpites catatumbus* (González Guzmán, 1967)

Género *Syncolporites* (Van der Hammen, 1954)

- *Syncolporites poricostatus* (Van Hoeken Klinkenberg, 1966)

Lámina 5-62

- *Syncolpites* sp.

Lámina 5-63

Placa: Agua Negra 47, England Finder: G41/2

Grano de polen, simetría radial, isopolar, oblado, contorno triangular convexo. Éxina delgada (1µm), bien estratificada, columelas cortas, la sexina es más gruesa que la nexina, tectado, ornamentación escabrado a micropitted. Tricolpado, colpos largos (6-7µm), con margo delgado y terminaciones en punta, grano sincolpado. Tamaño de grano medio 15 µm

Género *Tetracolporopollenites* (Pflug & Thomson, 1953)

- *Tetracolporopollenites transversalis* (Dueñas, 1980; Jaramillo & Dilcher, 2001)

Lámina 6-67

- *Tetracolporopollenites* sp.1

Lámina 6-69

Placa: Agua Negra 76, England Finder: D37/3

Grano de polen, simetría radial, isopolar, perprolado, contorno elíptico, en vista ecuatorial, éxina de 1µm, estratificada, la sexina es más gruesa que la nexina, columelas cortas <1µm, tectado, ornamentación escabrada a ligeramente verrucada, las escabras están hacia el apocolpio. Tricolporado, colpos largos, con margo grueso (2µm) y con terminaciones redondeadas, endoapertura corta, simple, ligeramente lalongada, área polar grande, Tamaño de grano medio 45µm.

Género *Trichotomosulcites* (Van der Hammen, 1956)

- *Trichotomosulcites* sp.

Lámina 4-49

Placa: Agua Negra 4, England Finder: S44/4

Grano de polen, mónade, simetría bilateral, contorno circular, de aspecto no regular por algunas verrugas de gran tamaño que resaltan del contorno, tectado, sexina>nexina, exina de 1 $\mu$ m, algunas columelas visibles, ornamentación verrucada no densa, las verrugas se distribuyen a lo largo de todo el grano, tricotomosulcado, abertura larga, con margo, bordes redondeados y forma cóncava. Diámetro ecuatorial medio 40 $\mu$ m.

Género *Zonocostites*. (Germeraad, Hopping & Muller, 1968)

*Zonocostites ramonae* (Germeraad, Hopping & Muller, 1968)

Lámina 6-70 y Lámina 6-71

## LÁMINA 1

1. *Deltoidospora adriennis*
2. *Laevigatosporites tibuensis*
3. *Magnastriatites grandiosus*
4. *Psilatriteles sp.*
5. *Verrucatosporites usmensis*
6. *Verrucatotriteles sp*
7. *Bombacacidites aff. Bombacacidites brevis*
8. *Bombacacidites zuatensis*
9. *Heterocolpites verrucosus*
10. *Ctenolophonidites sp*
11. *Ctenolophonidites sp*
14. *Inaperturopollenites sp*

## LÁMINA 2

12. *Echiperiporites akanthos*
13. *Echiperiporites akanthos*
15. *Lanagiopollis sp*
16. *Mauritiidites franciscoi var. minutus*
17. *Monoporopollenites annulatus*
18. *Monosulcites sp*
19. *Perfotricolpites digitatus*
20. *Perisyncolporites pokorny*
21. *Perisyncolporites pokorny*
22. *Polyade sp.2*
23. *Polyade sp.1*
24. *Psilabrevitricolporites triangularis*
25. *Psilamonocolpites amazonicus*
26. *Psilamonocolpites nanus*

## LÁMINA 3

27. *Magnaperiporites spinosus*
28. *Magnaperiporites spinosus*
29. *Psilastephanocolporites fissilis*
30. *Psilastephanocolporites schneideri*
31. *Psilastephanocolporites aff. Psilastephanocolporites schneideri*

32. *Psilastephanocolporites* sp.
33. *Crasiectoapertites colombianus*
34. *Crasiectoapertites colombianus*
35. *Psilatricolpites* aff. *Psilatricolpites papilioniformis*

#### **LÁMINA 4.**

36. *Psilatricolpites* sp.
37. *Psilatricolporites garzonii*
38. *Psilatricolporites* sp.1
39. *Psilatricolporites* sp.1
40. *Ranunculacidites operculatus*
41. *Retimonocolpites* sp
42. *Retistephanocolporites* sp.1
43. *Retistephanoporites* sp.
44. *Retistephanoporites* sp.1
45. *Retitrescolpites?* *irregularis*
46. *Retitrescolpites?* *irregularis*
47. *Retitricolpites caquetanus*
48. *Retitricolpites caquetanus*
49. *Trichotomosulcites* sp.

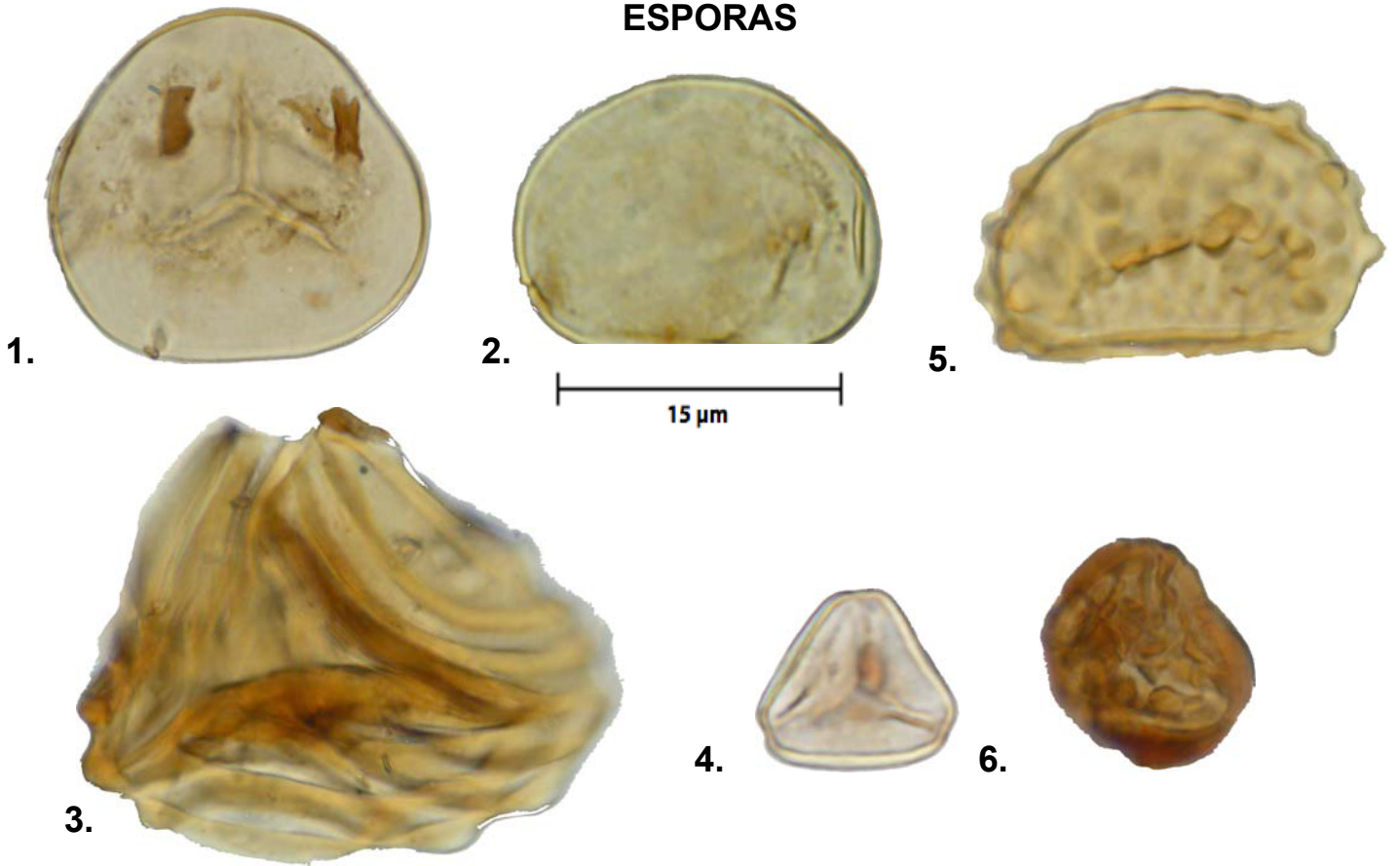
#### **LÁMINA 5.**

50. *Retitricolpites simplex*
51. *Retitricolpites* sp.2
52. *Retitricolpites* sp.2
53. *Retitricolporites caputoi*
54. *Retitricolporites caputoi*
55. *Retitricolporites* sp.
56. *Retitricolporites* sp.
57. *Retitriporites* sp.1
58. *Retitriporites* sp.2
59. *Retitriporites* sp.2
60. *Retitriporites* sp.3
61. *Retitriporites* sp.3
62. *Syncolporites poricostatus*
63. *Syncolpites* sp.

## LÁMINA 6

64. *Rhoipites* aff. *Rhoipites guianensis*
65. *Rhoipites* aff. *Rhoipites guianensis*
66. *Stephanocolporites* sp.1
67. *Tetracolporopollenites transversalis*
68. *Spirosyncolpites spiralis*
69. *Tetracolporopollenites* sp.1
70. *Zonocostites ramonae*
71. *Zonocostites ramonae*

LÁMINA 1  
ESPORAS



GRANOS DE POLEN

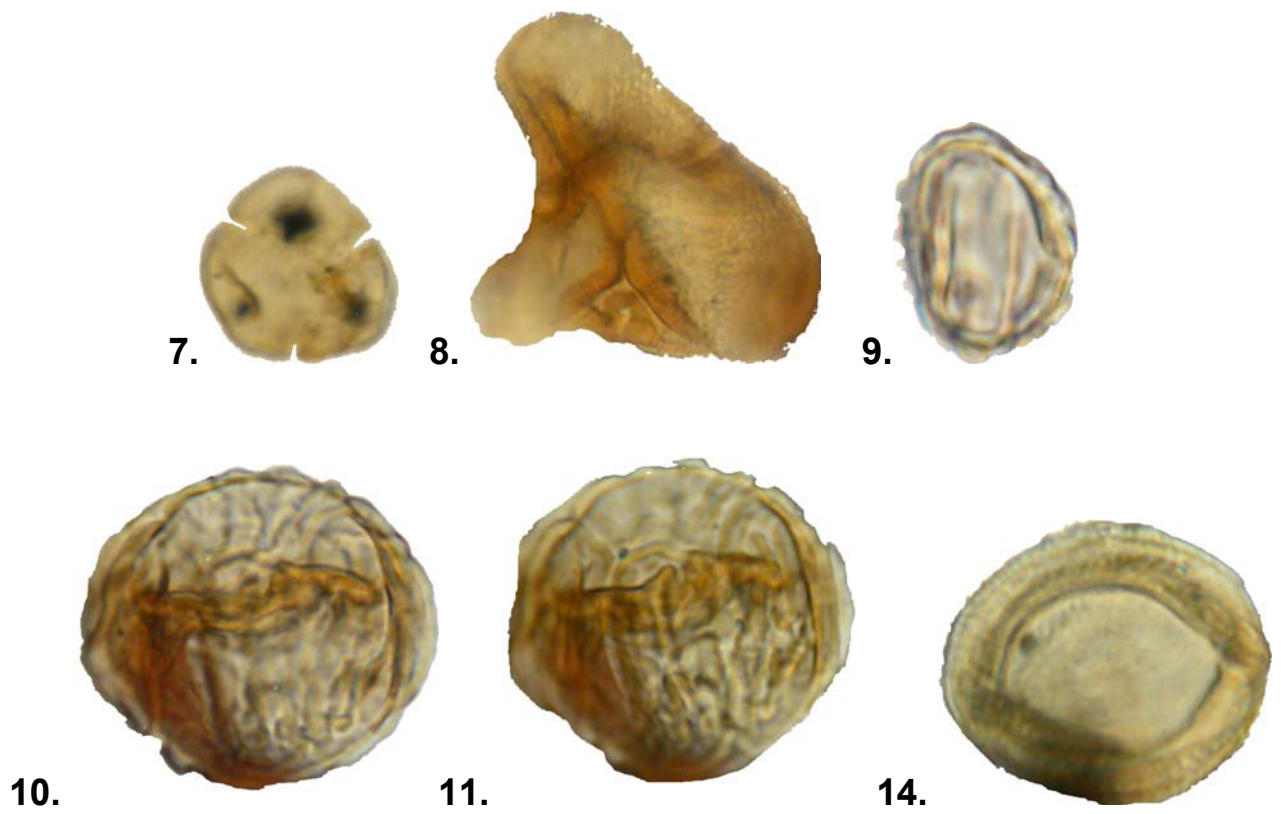


LÁMINA 2

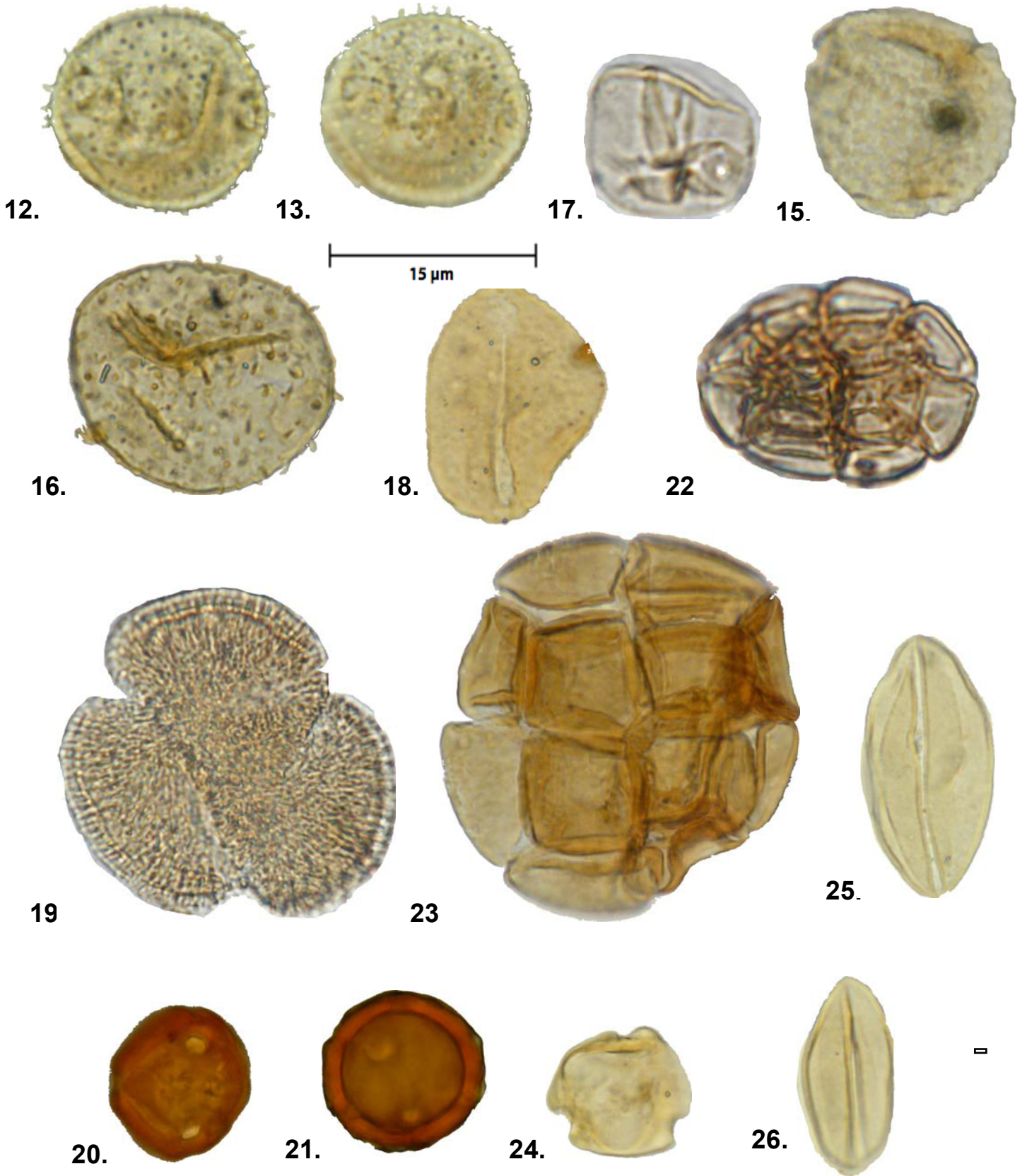


LÁMINA 3



27.



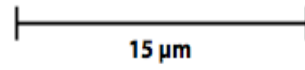
29 a.



29 b.



30.



28.



31.



32.



33.



34.



35.

LÁMINA 4

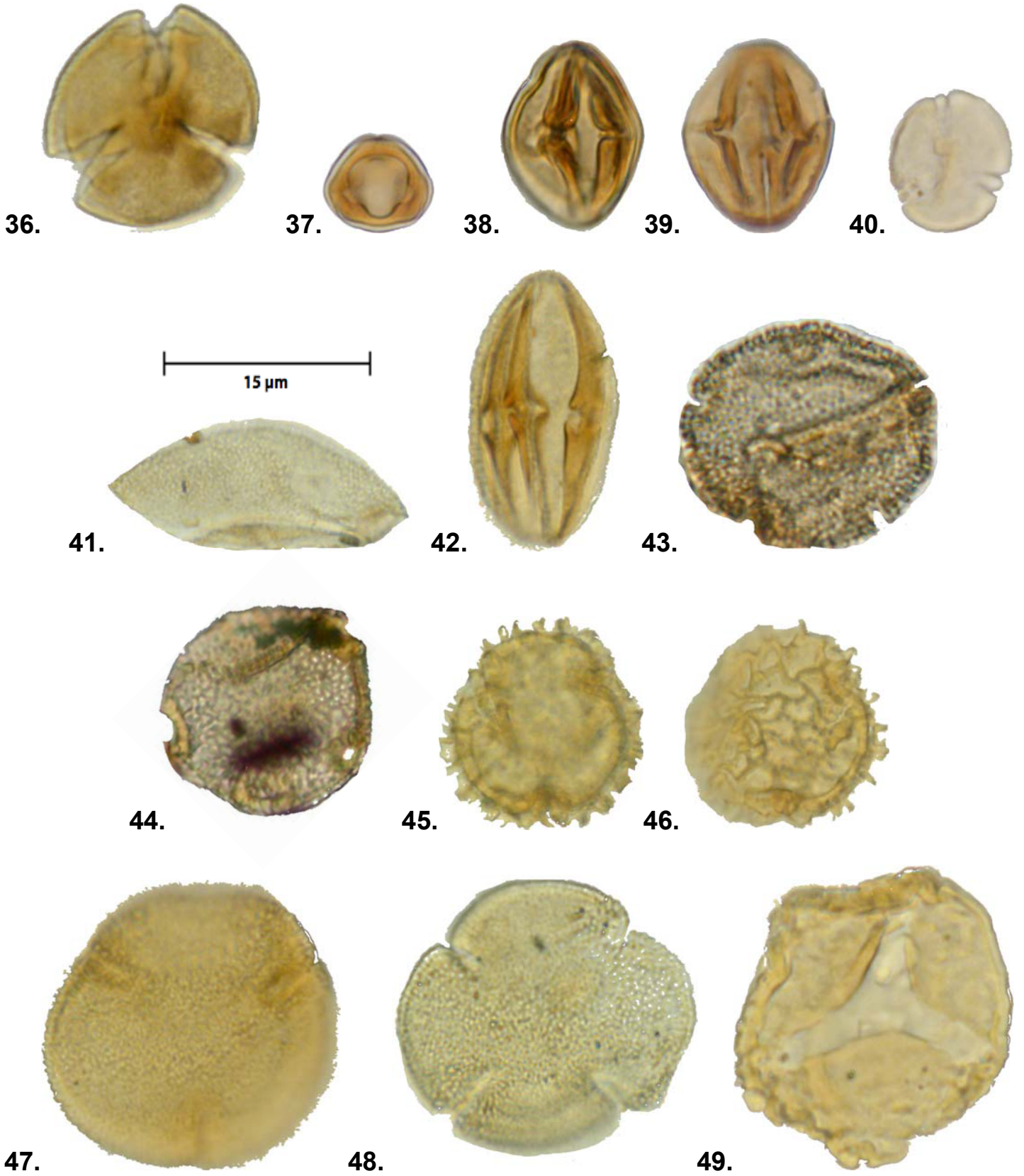


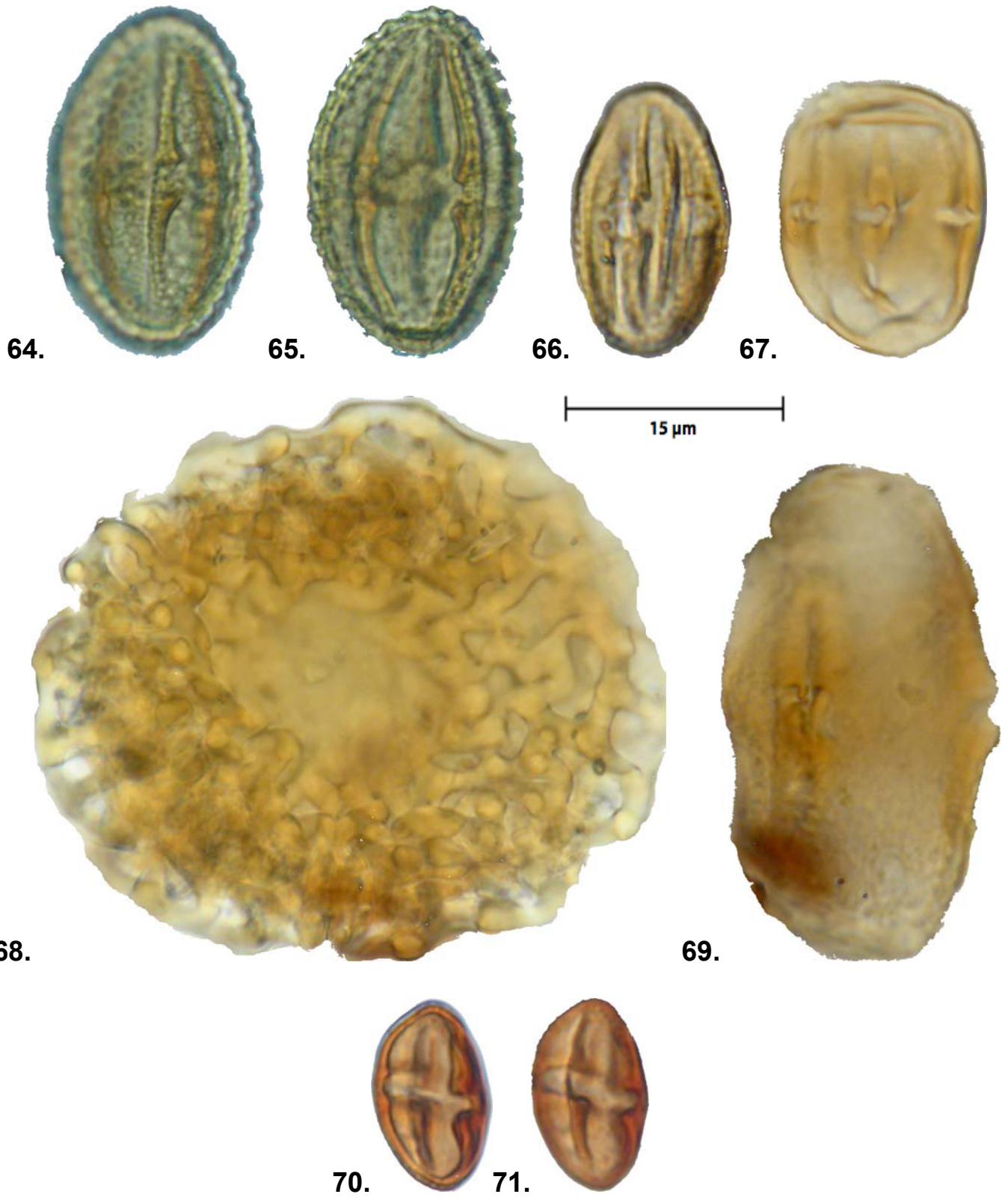
LÁMINA 5



15  $\mu$ m



LÁMINA 6









# ANEXO 7.

## Carta de Distribución Palinológica según Hábito Ecológico

### Sección Agua Negra Este

Intervalo : 8m - 11m

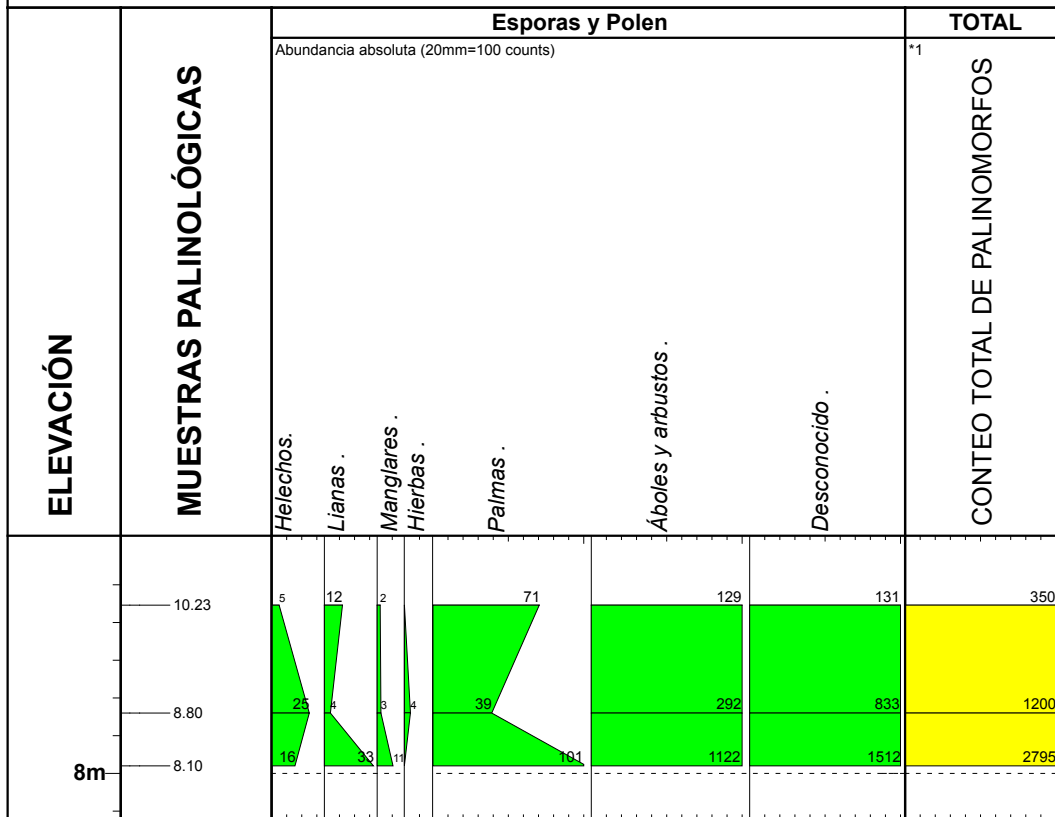
Escala : 1:100



Project : TESIS OCHOA  
Chart : AGUA NEGRA ESTE GRUPOS ECOLOGICOS

**Observaciones:**

\*1 Abundancia absoluta (20mm=100 granos contados)

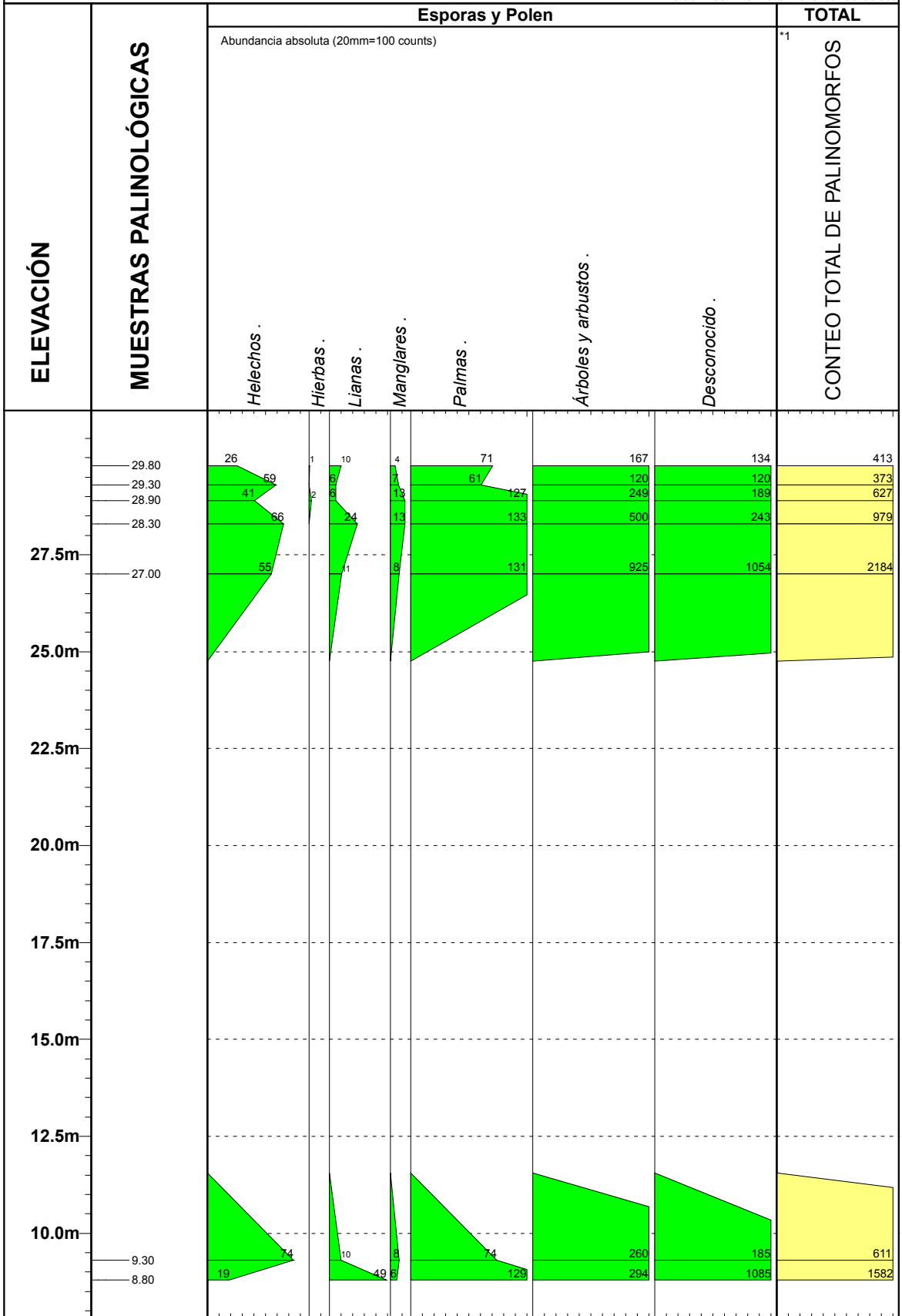


**ANEXO 8.**  
**Carta de Distribución Palinológica según Hábito Ecológico**  
**Sección Agua Negra Oeste**

Intervalo : 31m - 8m  
 Escala : 1:150



Project : TESIS OCHOA  
 Chart : AGUA NEGRA OESTE GRUPOS ECOLOGICOS



**OBSERVACIONES:**

\*1 Abundancia absoluta (20mm=100 counts)