



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Dinámica del clima y la vegetación de los últimos 200 años del Holoceno en el humedal La Bramadora (Antioquia-Colombia)**

**Chixel Yennifer Osorio Arango**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad ciencias, Escuela de Geociencias  
Medellín, Colombia

2016



# **Dinámica del clima y la vegetación de los últimos 200 años del Holoceno en el humedal La Bramadora (Antioquia-Colombia)**

**Chixel Yennifer Osorio Arango**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en geomorfología y suelos**

Director:

Biólogo Ph.D., César Augusto Velázquez Ruiz

Línea de Investigación:

Palinología y paleoecología

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias, Escuela de Geociencias  
Medellín, Colombia

2016



“No se ve bien sino con el corazón. Lo esencial es invisible a los ojos.”

*El principito*



## **Agradecimientos**

Quisiera aprovechar este espacio para agradecer, de manera muy especial, a los doctores Cesar Augusto Velásquez Ruiz y Luis Norberto Parra Sánchez, por sus enseñanzas, por sus consejos y por su ayuda en la mejora de este trabajo. También quiero aprovechar este espacio para agradecer de manera especial al Ivonne Marcela Castañeda por su apoyo y su disposición durante la realización de este trabajo.





## Resumen

Mediante un análisis polínico, estratigráfico y pérdidas por ignición; se reconstruyeron los cambios en la vegetación, clima (precipitación) y ambiente sedimentario del humedal La Bramadora, ubicado en el municipio de Sopetrán - Antioquia. Esta reconstrucción se realizó a lo largo de una columna sedimentaria de 200cm de profundidad con una edad de 200 años aproximadamente. Los resultados muestran que el sistema ha sido un pantano con fases de mayor y menor humedad. Cinco zonas fueron identificadas en el análisis polínico: I, II, III, IV y V. Las zonas IV y V (200-113 cm) reflejan condiciones muy húmedas, donde domina el polen de *Typha domingensis*. La zona III (113-62 cm) muestra una época muy seca, caracterizada por un aumento de la vegetación de borde de pantano y pantano como Pteridophyta y Cyperaceae y ausencia de vegetación acuática como *Typha domingensis*. Las zonas I y II (62-10 cm) reflejan un clima seco con algunos pulsos húmedos. Estos cambios reflejan condiciones similares a las reportadas en otros sectores del país.

**Palabras clave:** Precipitación, Perdidas por ignición, vegetación acuática, pantano, borde de pantano.

## Abstract

Through a polynic analysis, stratigraphic and ignition loss, we reconstructed the changes in the vegetation, the climate (precipitation) and the sedimentary environment of La Bramadora wetland, located in Sopetrán-Antioquia. This reconstruction was realized by the study of a sedimentary column of 200 cm deep and under the assumption of that the age of such samples is at around of 200 cal yr BP. The results obtained make us to note that the system was a swamp, but it has had higher and lower humidity periods. We identify five zones in the pollen analysis denoted by: I, II, III, IV and V. The zones IV and V (200-113 cm) reveal a very humid conditions, dominated by the pollen grain *Typha domingensis*. The zone III (113-62 cm) shows a very dry season characterized by an increase of the marsh and swamp border vegetation such as *Pteridophyta* and *Cyperaceae* and, it also shows a deficiency of aquatic vegetation such as *Typha domingensis*. The zones I and II (62-10 cm) reflect a dry climate with some humid pulses. These changes reveal similar conditions to those reported in other sectors of the country.

**Keywords:** Precipitation, Lost ignition, aquatic vegetation, marsh, swamp border.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>1</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Área de estudio .....</b>	<b>5</b>
1.1 Localización del humedal La Bramadora .....	5
1.2 Vegetación.....	7
1.3 Clima .....	8
1.4 Geología y geomorfología.....	8
<b>2. Antecedentes.....</b>	<b>11</b>
2.1 Marco teórico.....	12
2.1.1 Contexto climático.....	12
2.1.2 Palinología y conocimiento palinológico de la vegetación de bosque seco tropical .....	15
▪ Palinología de la vegetación de bosque seco tropical en Antioquia.....	16
▪ Diagramas de polen y zonación. ....	16
2.1.3 Vegetación del bosque seco tropical .....	17
▪ Bosque seco tropical en Colombia .....	17
▪ Bosque seco tropical en Antioquia .....	18
▪ Asociaciones ecológicas en humedales y pantanos.....	19
2.1.4 Pérdidas por ignición (LOI) en sedimentos lacustres.....	21
2.2 Metodología.....	22
2.2.1 Obtención de las muestras.....	22
2.2.2 Montaje de placas .....	23
2.2.3 Análisis microfósil.....	23
2.2.4 Agrupaciones ecológicas .....	23
<b>3. Resultados.....</b>	<b>25</b>
3.1 Estratigrafía .....	25
3.2 Zonación palinológica .....	26
3.2.1 Zona V (200-169 cm) (11 muestras).....	26
3.2.2 Zona IV (169-113 cm) (15 muestras).....	26
3.2.3 Zona III (113-62 cm) (12 muestras) .....	33
3.2.4 Zona II (62-10 cm) (14 muestras).....	33
3.2.5 Zona I (10-0 cm) (3 muestras).....	34

3.3	Pérdidas por ignición .....	34
<b>4.</b>	<b>Interpretación y discusión.....</b>	<b>36</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>41</b>
5.1	Conclusiones.....	41
5.2	Recomendaciones.....	42
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>45</b>

## Lista de figuras

### Pág.

<b>Figura 1-1:</b>	Mapa de localización del humedal La Bramadora.....	5
<b>Figura 1-2:</b>	Panorámica del humedal La Bramadora, Sopetrán- Antioquia.....	6
<b>Figura 3-1:</b>	Diagrama de porcentajes polínicos del humedal La Bramadora. Se muestra, profundidad, estratigrafía. Los grupos ecológicos se organizaron según su habito en: Árboles, arbustos, helechos, herbáceas, lianas, múltiples hábitos, palmas y trepadoras. La líneas de color rojo continuas muestran la división de definida por CONISS. ....	29
<b>Figura 3-2:</b>	Diagrama polínico del humedal La Bramadora. Se muestra la profundidad, estratigrafía, zonación palinológica, estratigrafía y grupos ecológicos organizados según su distribución en la de zona: Vegetación acuática, vegetación de pantano, vegetación de borde de pantano y vegetación regional. Las líneas de color rojo continuas muestran la división de definida por CONISS.....	31
<b>Figura 3-3:</b>	Diagrama polínico del humedal La Bramadora. Se muestra la profundidad, estratigrafía, zonación palinológica, y grupos ecológicos organizados según su habito en: Árboles, arbustos, helechos, herbáceas, lianas, múltiples hábitos, palmas y trepadoras. ....	32
	En la parte superior del núcleo donde predominó los sedimentos arcillo limosos con abundantes restos vegetales, se observó la zona con mayor contenido de materia orgánica a lo largo del núcleo, con valores entre 13% y el 23%. ver Figura 3-4. ....	35
<b>Figura 3-4:</b>	Representación de las pérdidas por ignición (LOI) obtenidas en los primeros 200 centímetros del humedal La Bramadora. ....	35



# Lista de tablas

Pág.

<b>Tabla 3-1:</b> Columna estratigráfica general de los sedimentos del humedal La Bramadora. ....	25
---	----

## **Introducción**

En Colombia existe una gran cantidad de estudios paleoecológicos con resoluciones que van desde milenios a unos pocos años, la mayoría concentrados en alta montaña y en menor grado, tierras bajas y zonas costeras o marinas. Se destacan las publicaciones en las series *The Quaternary of Colombia* (1973) y *Colombia Diversidad Biótica* (1997, 2000, 2012). Otras investigaciones relevantes y recientes, de alta resolución paleoecológica, realizados en la zona Andina son la de Velásquez (2005); Bogotá, Groot, Hooghiemstra, Lourens, Van der Linden y Berrio (2011); Gonzales, Hooghiemstra y Velez (2012); Groot, Hooghiemstra, Berrio y Giraldo (2013); Velásquez y Hooghiemstra (2013); Betancourt y Rangel, 2012; Muñoz (2012); Velásquez, R(2013) y Castañeda (2013) que han mostrado para el Holoceno, alteraciones climáticas drásticas y de corta duración con fuerte impacto en los ecosistemas.



## Introducción

---

El último milenio tiene un interés particular porque durante el mismo se han registrado eventos tan notables como el Calentamiento Medieval, La Pequeña Edad de Hielo (LIA) y el calentamiento moderno. El primero se le atribuye el colapso Maya en Centroamérica (Hodell, Curtis & Brenner, 1995; Leyden, Brenner & Dahlin, 1998; Brenner et al., 2001), Tiwanaku en Bolivia (Orlove, 2005) y probablemente la cultura Zenú en Colombia (Plazas, Falchetti, Saenz & Archila, 1993). La Pequeña Edad de Hielo (LIA) (Ruddiman, 2008; Luterbacher et al., 2001), asociada a periodos de menor actividad solar, fue registrada en el glaciar de Quelccaya en Perú, como una fase fría y húmeda entre 1500 y 1720, y una fría y seca entre 1720 y 1880 (Thompson, Mosley, Dansgaard & Grootes, 1986); de igual manera se afirma que provocó un enfriamiento de 2 a 3°C en el Golfo de México y el Mar Caribe, que conllevó a una disminución en la precipitación y retraso de la época de lluvias (Richey, Poore, Flower, Quinn & Hollander, 2009). Por último, el calentamiento reciente (IPCC, 2013), se ha manifestado desde 1963 a 1990 con un incremento de la temperatura media del planeta de 0,5°C y entre 1850-1900 de 1°C, provocando una fuerte regresión de los glaciares, como es el caso del glaciar Rhône en Suiza, que ha tenido una disminución considerable el último siglo (Caballero, Lozano & Ortega, 2007), pérdidas de tierras en zonas bajas por el aumento del nivel del mar (Tomil, Losada & Camus, 2015) y una considerable disminución en los caudales de los ríos tropicales.

En zonas bajas y especialmente en bosque seco tropical, existen pocos estudios paleoecológicos, no porque tengan poco interés, sino por el desconocimiento de ambientes sedimentarios que presenten registros palinológicos o geoquímicos adecuados para este tipo de estudios. En vista de la importancia de estos ecosistemas

## Introducción

---

para el país, por su biodiversidad, oferta de recursos y el potencial para estudios paleoclimáticos, ya se han realizado estudios en zonas de tierras bajas, sobre sedimentos del Valle del Cauca (Berrio, Hooghiemstra, Marchant & Rangel, 2002), Valle del río Patía (Berrío, Hooghiemstra, Metcalfe & Marchan, 2004), Caribe (Haug, Hughen, Sigman, Peterson & Röhl, 2001; González, Urrego, Martínez, Polanía & Yokoyama, 2010) y de algunas ciénagas de los departamentos de Cesar y Córdoba (García, 2011; Betancourt & Rangel, 2012; Palacios, Rodríguez & Rangel, 2012).

En el departamento de Antioquia, específicamente en el humedal La Bramadora municipio de Sopetrán, se realizó un estudio de flora y palinología y un preliminar de paleoecología (Restrepo & Toro, 2003), que mostró gran potencial para avanzar en esta investigación; específicamente en dinámica de vegetación y cambios en la precipitación. Este estudio, junto con otros realizados en la cordillera Occidental (Velásquez, 2005; Velásquez & Hooghiemstra, 2013; Muñoz, 2012) y en la Central (Velásquez R., 2013; Castañeda, 2013; Giraldo, 2015), Macizo colombiano (Jojoa, 2007); permitirán acercarnos a entender fenómenos climáticos tan recientes como la Pequeña Edad de Hielo, ciclos del El Niño y el calentamiento reciente o cambios en la precipitación.

## Introducción

---

En este sentido, estudios de alta resolución paleoecológica del Holoceno y en particular del último milenio son de gran interés; no solo porque se detectan cambios climáticos a escalas temporales muy cortas, sino porque también es posible encontrar periodicidades de fenómenos climáticos, que en muchos casos han sido incluso, responsables de extinciones o fuerte alteración de muchas especies. Por esta razón y teniendo en cuenta que el humedal La Bramadora tiene una resolución potencial casi anual (Restrepo & Toro, 2003), nos hemos trazado como objetivo central reconstruir a escala quinquenal, las variaciones climáticas y los cambios asociados en la vegetación, de los últimos 200 años del Holoceno, mediante el análisis polínico, estratigráfico y contenido de materia orgánica y mineral de los registros sedimentarios.



# 1. Área de estudio

## 1.1 Localización del humedal La Bramadora

El humedal La Bramadora se encuentra en la vereda La Puerta del municipio de Sopetrán (Antioquia- Colombia), aproximadamente a 6 Km de la vía Medellín-Santa Fe de Antioquia, en las coordenadas 6°28'30,2" Norte y 75°47'5" Occidente y a una altura de 534msnm, sobre la margen oriental de río Cauca, ver Figura 1-1 y Figura 1-2.

**Figura 1-1:** Mapa de localización del Humedal La Bramadora, Páramo de Frontino y Páramo de Belmira.



**Figura 1-2:** Panorámica del Humedal La Bramadora, Sopetrán- Antioquia.



## 1.2 Vegetación

En el bosque seco tropical en Antioquia, se encuentra vegetación endémica como *Achatocarpus* (Achatocarpaceae), *Sciadodendron* (Araliaceae), *Crecentia* (Bignoniaceae), *Morisonia* (Capparaceae), *Bursera* (Burseraceae), *Amyris* (Rutaceae), *Melicocca* (Meliaceae), *Malpighia* (Malpighiaceae), *Gyrocarpus* (Hernandiaceae), *Pogonopus* (Rubiaceae), *Curatella* (Dilleniaceae), *Cnidoscolus* (Euphorbiaceae) y *Coursetia* (Fabaceae). En el municipio de Sopetrán también se pueden encontrar especies típicas de bosque seco tropical como: *Hygrophila costata* (Acanthaceae), *Justicia comata* (Acanthaceae), *Pistia stratiotes* (Araceae), *Bursera simaruba* (Burseraceae), *Hymenaea courbaril* (Caesalpinaceae), *Gyrocarpus americanus* (Hernandiaceae), *Acaceae Farnesiana* (Fabaceae), *Passiflora foetida* (Pasifloraceae), *Acrostichum danaeifolium* (Pteridaceae), *Amyris pinnata* (Rutaceae), *Solanum jamaicense* (Solanaceae) y *Thelypteris serrata* (Thelypteridaceae) (Vélez, 2005).

En el área de estudio se encuentran los siguientes tipos de vegetación asociados a las condiciones de humedad:

Vegetación acuática enraizada emergente o helofítica: Representada por *Typha domingensis* (Typhaceae), planta que se presentan en áreas estacionalmente a permanentemente inundadas y desde aguas muy someras a aguas de más de un metro de profundidad (Rangel, 2010).

Vegetación acuática flotante no enraizada: Está representada por *Pistia stratiotes* (Araceae), flotante libre de gran porte, nativa de Sudamérica (Cook, 1990) y características de ambientes tropicales y subtropicales, gran sensibilidad a bajas temperaturas del aire y eventos de heladas (Sculthorpe, 1967).

Vegetación enraizada: Sobre la orilla del humedal La Bramadora se encuentran herbáceas de las familias Poaceae, Cyperaceae, helechos representados por *Asplundia* (Cyclanthaceae), *Polypodium* (Polypodiaceae) y *Anemia* (Anemiaceae). También se

encuentran ejemplares de trepadoras como *Iseia luxurians* (Convolvulaceae) y arboles como *Erythrina glauca* (Fabaceae).

En la vegetación circundante al humedal se puede encontrar diversas especies de plantas de bosque seco; Árboles como *Ceiba pentandra* (Malvaceae), *Bursera simaruba* (Burseraceae), *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae), *Achatocarpus nigricans* (Achatocarpaceae), *Zanthoxylum fagara* (Rutaceae), *Psychotria sp* (Rubiaceae), y arbustos como *Piper sp* (Piperaceae), etc.

### 1.3 Clima

Debido a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), el departamento de Antioquia se caracteriza por un régimen de precipitación bimodal con un período seco de diciembre a marzo, uno lluvioso de abril a noviembre y en los meses de junio y julio se presenta otro periodo corto seco. El municipio de Sopetrán, localizado geográficamente sobre el ramal occidental de la cordillera Central; presenta un clima cálido, con temperatura promedio de 26 °C y precipitación media de 1.482,92 mm/año. A pesar de que esta zona se encuentra en el área de influencia de la ZCIT, tiene un clima muy seco, debido a la complejidad topográfica que presenta nivel regional, pues se encuentra sobre un valle estrecho y profundo ubicado entre la cordillera Occidental y Central, cuyas alturas promedio son 1000 y 3500 msnm respectivamente. Estas cordilleras actúan como barreras que contribuyen al agotamiento de la humedad en la atmósfera con la altura, reteniendo la mayor parte de la humedad del aire en las vertientes exteriores (Mesa et al, 1997).

### 1.4 Geología y geomorfología

El municipio de Sopetrán está ubicado en el flanco occidental de la cordillera Central a orillas del río Cauca, en un valle de origen tectónico, con una paleotopografía predominantemente plana en la que se originaron acumulaciones de sedimentos sinorogénicos, que posteriormente debido a la fuerte actividad erosiva, dio forma al valle actual (Mejía, 1984). La geología en el área genera una topografía abrupta con colinas simétricas y fuertes pendientes. Las elevaciones varían entre la cota 425 m.s.n.m. en las orillas de río Cauca, hasta 2800 m.s.n.m. aproximadamente (Mejía, 1984)



La geología de la zona se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias de la Formación Amagá, donde predominan las areniscas de grano medio a fino intercaladas con algunos niveles de conglomerado, y las rocas metamórficas del grupo Ayurá-Montebello como esquistos, gneises cuarzomíceos, neises anfibólicos, anfibolitas y rocas ígneas como gneises sintectónicos intrusivos. (Mejía, 1984)

Según Page y Mattson (1981) existen muchas secuencias de terrazas de origen lacustre y fluvio-lacustre en la cuenca de Santa Fe de Antioquia- Sopetrán, y por lo menos tres secuencias con dataciones preliminares con  $^{14}\text{C}$  de 800,1500 y 3100 años BP (antes del presente), depositadas por eventos de represamiento de río Cauca, como consecuencia de mega deslizamientos. Esta información permita asociar los sedimentos lacustres del humedal La Bramadora; de una edad aproximada 400 años BP en los primeros 4 metros de una secuencia sedimentaria de 7 metros de profundidad (Restrepo & Toro, 2003), con los depósitos de inundación del río Cauca.



## 2. Antecedentes

En la cuenca Santa Fe de Antioquia- Sopetrán han realizado estudios tectónicos (Suter, Martínez & Vélez, 2011), geológicos (Torres & Molina, 2012), paleoclimáticos (Martínez, Obrochta, Yokoyama & Battarbee, 2015), Vegetación (Vélez, 2005), Espinal (1992), y paleoecológicos (Restrepo & Toro, 2003), siendo los cuatro últimos los más relevantes para este trabajo.

Espinal (1992), realizó un estudio de caracterización de las formaciones vegetales del departamento de Antioquia, donde identificó algunas especies comunes del bosque seco tropical en el área de Santa Fe de Antioquia- Sopetrán como: *Achyranthes aspersa*, *Amyris pinnata*, *Calotropis procera*, *Bouchea prismatica*, *Bulnesia carrapa*, *Cardulovica palmata*, *Cedrela angustifolia*, *Erythrina glauca*, *Terminalia catappa*, *Wigandia caracasama*, entre otras.

Vélez (2005) en su estudio florístico del bosque seco tropical en el cañón del río Cauca en el occidente medio de Antioquia, caracterizó la vegetación de bosque seco en el cañón de río Tonusco en Santa Fe de Antioquia; encontró especies como *Stemmadenia grandiflora*, *Piper amalago*, *Cnidocolus tubulosus*, *Machaerium cf. biovulatum*, *Rondeletia pubescens*, *Bursera simaruba*, *Capparis indica*, *Triplaris americana*, *Pogonopus exsertus*, *Astronium graveolens*, *Maclura tinctoria*, *Armatocereus cf. humilis* y *Chiococca alba*.

En el estudio paleoclimático de Martínez et al. (2015), mediante el análisis de los sedimentos de la terraza San Nicolás, encontraron una correlación entre la fase positiva de la oscilación multi-decadal del Atlántico. (Fase cálida de AMO) y los depósitos fluvio lacustres del valle del Cauca, además de una posible correlación entre la precipitación y el ENSO con la fase positiva del (AMO) entre (1500-200 años BP).

Hace una década, un estudio paleoecológico preliminar (Restrepo & Toro, 2003) en el humedal La Bramadora del municipio de Sopetrán-Antioquia (6°28'30,2" N, 75°47'5" W, 534 msnm), detectó una tasa de sedimentación casi anual a partir de cinco dataciones con C<sup>14</sup>, y una acumulación de sedimentos que abarcó un periodo de aproximadamente 700 años BP; además de realizarse un atlas palinológico preliminar y una estratigrafía general del núcleo. En los cuatro primeros metros de sedimentos, se encontró una correlación con los primeros 150 cm (400 años BP C<sup>14</sup> aproximadamente) del núcleo extraído (Berrio, 2002) en la zona de Santander de Quilichao, Valle del Cauca, en el cual se detectó un dominio de bosque seco tropical y el incremento de la vegetación secundaria como *Cecropia peltata* y *Moraceae/Urticaceae*, como consecuencia de la intervención antrópica en los últimos cuatro siglos.

## 2.1 Marco teórico

### 2.1.1 Contexto climático

Durante el presente interglaciar se han presentado cambios climáticos de transiciones cortas a escala de décadas a siglos. La mayoría de estos eventos son de naturaleza cíclica y de escala global (Magny, 1993; 1998; 2004; Alley & Mayewsky, 1997) y operan independientemente de los ciclos glacial/interglaciar.

La duración de los ciclos cortos va desde años a milenios y el mecanismo que lo produce es aún debatido. Entre estos se encuentran la oscilación climática del sur (ENSO), que tiene un periodo de retorno de 2-7 años (Dettinger, Battisti, McCabe, Bitz, & Garreaud, 2001; Welsh, Elliot, Tudhope, Ayling & Chappell, 2011); las manchas solares con una ciclicidad de 11 años (Claud, Cagnazzo, Keckhut, 2008) y los cambios en el sistema océano-atmósfera o en la actividad solar de 1500 y 2400 años (Bond et al., 1997; Van Geel et al., 1999).

En los últimos milenios han ocurrido eventos climáticos a escala regional y global, con efecto en la dinámica de los ecosistemas y las poblaciones, como el calentamiento climático llamado el Óptimo medieval, la Pequeña edad de hielo (LIA) y el calentamiento

reciente; además de otros fenómenos como la Oscilación del sur (ENSO) y la oscilación del Atlántico norte, entre otros.

El Optimo Medieval reportado entre 700 y 1200 AD es reconocido en diferentes lugares del mundo como Europa, (Briffa, 2000), N. América (Brubaker & Cook, 1984), Asia (Morgan, 1985) y S. América (Van der Hammen & Cleef, 1992; Markgraf et al., 2000; Castañeda, 2013). En los Andes ecuatoriales el calentamiento medieval fue registrado en dos fases, la primera cálida y húmeda (850-1250 AD), asociada a la alta actividad del ENSO y débil actividad del monzón del sur. En la segunda fase dominó un clima seco (1250-1550 AD) asociado a la baja actividad del ENSO (Ledru et al., 2013; Cuna, Caballero, Zawisza & Ruiz, 2015). En el Páramo de Frontino en la zona centro de Colombia, entre (1940-620 años BP) se registró un periodo seco y cálido, donde el nivel del agua del Páramo bajó, la temperatura aumento más de 1°C y la línea del bosque se desplazó de 3500 hasta 3700 msnm (Velásquez et al., 2004).

Alrededor de 1300 y 1850 se presentó un evento frío llamado “La Pequeña Edad de Hielo”, cuya magnitud y amplitud varía ampliamente alrededor del mundo.(Velásquez, 1999; Van der Hammen, 1992; Markgraf et al., 2000; Briffa, 2000; Broecker, 2000; Richey et al., 2009). Este evento climático se manifestó con una disminución de la temperatura entre 2 y 3°C al norte del Golfo de México entre 1450-1550, 1700-1750 y 1990 AD, que provocó una disminución de la precipitación y retraso en las épocas de lluvias.(Richey et al., 2009).En el centro-occidente de México un estudio florístico y ambiental realizado en un núcleo de sedimento de 37cm de profundidad (Castillo, Figueroa, Lozano, Olvera, Cuevas, 2016), mostró que el inicio de LIA ocurrió entre 1230-1319 DC. El período más seco en esta área durante la LIA se presentó de 1653-1720 DC, etapa que corresponde al mínimo de Maunder, que corresponde también al máximo de avances de los glaciares en México. Este evento seco se caracterizó por un aumento de herbáceas como Poaceae, Piperaceae y *Arisaema*. En conjunto estos estudios demuestran tendencia general de la zona centro de México durante LIA hacia el clima seco. En los Andes Colombianos, Páramos de Belmira y Frontino, el clima se tornó húmedo y frío alrededor de 620 años BP.

En los Andes ecuatoriales la LIA se registró en dos fases: una húmeda entre 1550-1650 AD, vinculada a la baja variabilidad del ENSO en el Pacífico y a la temperatura superficial

cálida del Atlántico sur ecuatorial y una fría y seca entre 1650-1800 AD asociada con una baja actividad del ENSO y una débil actividad del monzón del sur (Ledru et al, 2013, Cuna et al, 2015). Registros en sedimentos laminares de la laguna de Pallacacocha en el sur de Ecuador presentan evidencias del aumento de la periodicidad del ENSO en los últimos milenios. Estos sedimentos registraron hasta 7000 años BP una frecuencia de oscilación de 15 años y entre 7000-1200 años BP un incremento en su frecuencia de 2 a 8 años. (Moy, Seltzer, Rodbell, Anderson, 2002).

Al norte de Venezuela en la cuenca de Cariaco (Haug et al., 2001), reconstruyeron los cambios climáticos de los últimos 14000 años, mediante las concentraciones de Hierro y Titanio en sedimentos laminados. En este intervalo identificaron eventos como el Younger Dryas, Máximo Termal, Calentamiento Medieval, La Pequeña Edad de Hielo; y la migración latitudinal de la ZCIT. Durante el frío Younger dryas (12600-11500 años BP) la cuenca registró valores de titanio bajos, típicos de un clima seco. En el Máximo termal (10500-5400 BP) los valores de hierro y titanio aumentaron, tornándose el clima más húmedo posiblemente por la posición media anual de la ZCIT más al norte con relación al holoceno tardío. Durante el Calentamiento Medieval aumentó la precipitación y en La Pequeña Edad de Hielo (550-200 años BP) disminuyó la precipitación alcanzando los registros mínimos del Holoceno (Haug et al., 2001).

Registros en el Páramo de Frontino (Velázquez, 2004), Belmira (Castañeda, 2013), el lago Titicaca (Baker et al, 2001) y en la Amazonia (Mayle, Burbridge & Killeen, 2000) indican un incremento en la precipitación durante La Pequeña Edad de Hielo, comportamiento opuesto al de la cuenca de Cariaco y Bahía Honda en San Andrés (Gonzales et al., 2010).

En general, los registros sedimentarios del Caribe, zona centro de Colombia y Andes centrales de Perú, muestran una marcada diferencia en las precipitaciones, comportamiento que responde a la oscilación de la ZCIT.

Las últimas décadas del siglo XX muestran un calentamiento inusual, registrado a nivel mundial y atribuido en gran porcentaje a actividad antrópica y, hay evidencias de que la frecuencia del fenómeno ENSO se ha incrementado entre 1750 y 1850 hasta el presente,

posiblemente este efecto este asociado al calentamiento reciente (Thompson, Mosley-Thompson, Davis, Buffen, 2006; Villalba, Dárriago, Cook & Jacoby, 1999).

### **2.1.2 Palinología y conocimiento palinológico de la vegetación de bosque seco tropical**

Los granos de polen y esporas son mecanismos de propagación que utilizan las plantas embriófitas. El polen es el gametofito masculino de las plantas con semilla, en tanto que las esporas son el medio de propagación de muchas plantas vasculares como las Pteridofitas. Estos palinomorfos tienen una pared de esporopolenina que los hace mas resistente al ataque microbiano y a los procesos diagenéticos.

El estudio de polen y esporas en sedimentos, es un método muy utilizado en la reconstrucción del clima y la vegetación. Gracias a su gran capacidad de conservación y a su pequeño tamaño, los palinomorfos pueden ser transportados a grandes distancias por la acción del viento, agua u otros vectores, y posteriormente depositarse en sitios como lagunas, pantanos y turberas. Las condiciones reductoras presentes en estos espejos de agua, donde se presentan baja actividad micótica, permiten la preservación de los palinomorfos acumulados (Guíñez, Valdés & Siffedine, 2010; Serrano & Reyes, 2014).

Los palinomorfos presentan una ventaja en cuanto a su preservación y dispersión, en comparación con los macrofósiles como semillas y frutos, debido a que estos últimos se preservan con mayor dificultad y su área de dispersión es muy reducida representando solo condiciones locales de la vegetación y en algunos casos sobreestimándola; en cambio los microfósiles (polen y esporas) permiten tener un panorama más completo de la vegetación en áreas de mayor amplitud, debido a su gran capacidad de preservación y fácil dispersión; a pesar de que algunas veces los granos de polen pueden ser transportados mas allá de sus límites altitudinales o latitudinales (Moore & Webb, 1983).

### ▪ **Palinología de la vegetación de bosque seco tropical en Antioquia**

En Antioquia en la zona de bosque seco, se cuenta con un completo estudio palinológico, elaborado por Restrepo y Toro (2003), en el que también se incluye el área del sistema lacustre La Bramadora.

En este estudio se describieron 150 taxones de polen pertenecientes a 65 familias, de las cuales las más ricas en cuanto al número de especies fueron: Fabaceae, Euphorbiaceae, Mimosaceae, Solanaceae, Asteraceae, Bignoniaceae, Malvaceae, Verbenaceae, Bromeliaceae, Apocynaceae, Cesalpinaceae y Meliaceae.

### ▪ **Diagramas de polen y zonación.**

La presentación gráfica de resultados de investigaciones palinológicas se realiza principalmente mediante diagramas polínicos. Estos muestran una columna litológica con información sobre profundidad, tipo de sedimento y características particulares del segmento. También muestra una escala de tiempo así como diagramas individuales para cada taxón y un diagrama general que expresa las variaciones verticales a nivel de individuos y grupos.

La zonación es un concepto bioestratigráfico que se utiliza para analizar la distribución de las taxa fósiles a través del tiempo, en donde una zona representa un intervalo claramente diferenciable de sus vecinos, por su composición y/o abundancia de un taxa. Los límites de las zonas se establecen en puntos claves como la primera aparición de una especie (FAD) y/o su última aparición (LAD) que en términos de vegetación actual se puede traducir como la transiciones de un período dominado por vegetación acuática a uno en el cual la vegetación dominante es de pantano (Blandon,2002).

El objetivo de la zonación es determinar verticalmente intervalos que posean ambientes sedimentarios o condiciones climáticas semejantes, de tal forma que se puedan interpretar gracias a los taxa y/o sus asociaciones (que representen determinadas zonas de vida) y su proporción. Por lo tanto, del diagrama pueden ser estimados



aproximadamente las variaciones en la temperatura, precipitación y distribución altitudinal de las zonas de vida. (Velasquez, Parra, Sanchez, Rangel, Ariza&Jaramillo, 1999).

La presentación gráfica de resultados de investigaciones palinológicas, se realizó mediante diagramas polínicos. En todos estos diagramas se presenta una columna con información litológica, un diagrama general y luego, diagramas individuales para cada taxón. El diagrama expresa las variaciones verticales a nivel de grupo e individual.

La columna litológica se ubica en el extremo izquierdo del diagrama y posee información sobre profundidad, tipo de sedimento y rasgos particulares del segmento.

### **2.1.3 Vegetación del bosque seco tropical**

El bosque seco tropical (bs-T) se define como aquella formación vegetal que presenta una cobertura boscosa continua, que tiene como límites climáticos generales, una biotemperatura superior a 24 C°, precipitaciones entre los 200 y 2000 mm anuales con uno o dos periodos marcados de sequía al año y una altura sobre el nivel del mar de entre los 0-1000 m de altitud (Espinal, 1985; Murphy & Lugo, 1986).

No existe un consenso para la definición de los límites del bosque seco tropical. Autores como Murphy y Lugo, (1986) señalan rangos de precipitación anual entre 600 y 1800 mm/año, (Holdridge & Grenke, 1971) proponen rangos entre 250 y 1800 mm y Espinal y Montenegro (1977), establecen rangos para la precipitación entre 1000 y 2000 mm. Para la definición de la altura sobre el nivel del mar, es aceptado el rango de 0-1000 metros por la mayoría de los autores.

#### **▪ Bosque seco tropical en Colombia**

El bosque seco tropical (bs-T) representa el 50% de las áreas boscosas en Centroamérica y el 22% en Sudamérica (Murphy & Lugo, 1986). En Colombia el bosque seco tropical se distribuye en las regiones de la llanura del Caribe y valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena entre los 0-1000 metros de altitud y en jurisdicción de los departamentos del Valle del Cauca, Tolima, Huila, Cundinamarca, Antioquia, Sucre; Bolívar, Cesar, Magdalena, Atlántico y sur de La Guajira.

De acuerdo a Espinal y Montenegro (1977), existen enclaves de bosque secos tropicales de menor extensión en las islas de San Andrés y Providencia, al norte de la península de La Guajira, Santa Marta (Magdalena), Gamarra (Cesar), cañón del río Chicamocha (Santander), cañón del Dagua (Valle del Cauca), Villa vieja (Huila) y valle del río Patía (Cauca).

Este ecosistema es uno de los más amenazados y degradados en el trópico debido a la fertilidad de sus suelos, que son usados principalmente para la agricultura y la ganadería. Además ha sufrido una destrucción intensa y prolongada al punto de que en muchas regiones solo se encuentran fragmentos del bosque seco, como es el caso de la cuenca alta del río Cauca en el que solo se conserva el 2% del bosque seco original (IAVH, 2012). Algunos datos muestran que de los bosques secos a sub húmedos en nuestro país solo se preserva cerca del 1.5% de su cobertura original de 80.000 Km<sup>2</sup> (Etter, 1993).

Para Colombia así como en otras zonas secas en el Neotrópico, la familia con mayor número de especie en el Bosque seco Tropical, en muestreos de 0.1 ha, es la de las Leguminosas seguida de la familia Bignoniaceae, en tercer lugar se encuentran las familias Sapindaceae y Capparidaceae, que puede ser remplazadas en algunas zonas por las familias Rubiaceae y Euforbiaceae (IAVH, 1998).

### ▪ **Bosque seco tropical en Antioquia**

De acuerdo a Espinal (1992), la formación bosque seco tropical (bs-T) se encuentra en el departamento de Antioquia en las zonas del Cañón del río Cauca entre el municipio de La Pintada hasta antes de Puerto Valdivia, en Dabeiba entre las poblaciones de Uramita y Dabeiba, y en la costa Caribe en la zona de Arboletes ubicado en el extremo noroccidental del departamento de Antioquia. Este ecosistema se encuentra altamente degradado debido a las actividades agrícolas y ganaderas que allí se practican, y la mayor parte del bosque nativo ha desaparecido, encontrándose solo pequeños parches de bosque (Espinal, 1992; Vasquez, 2015).

En esta zona de vida, se han realizado algunos estudios florísticos entre los que se encuentra el de Espinal (1966,1992) y Del Valle, Fernández y Santa (1970) que realizaron un estudio general de los suelos y formaciones vegetales del municipio de Santa Fé de Antioquia, y registraron también algunas de las especies características del bosque seco tropical de varias zonas de Antioquia.

Aguirre (1975) y Chavarriaga (1976) caracterizaron la vegetación de "Cotové", ubicada en la llanura aluvial del río Tonusco, en el municipio de Santa Fe de Antioquia, con énfasis en malezas y algunas especies arbóreas, incluyendo algunas de carácter introducido. Vélez (2005) hizo un estudio florístico del bosque seco tropical en el cañón de río Cauca en el occidente medio de Antioquia y presentó como principal hallazgo 13 géneros endémicos restringidos al bosque seco tropical en Colombia, de los 41 géneros reportados por el IAVH (1998): *Achatocarpus*, *Sciadrodendron*, *Crecentia*, *Bursera*, *Morisonia*, *Curatella*, *Cnidoscolus*, *Coursetia*, *Gyrocarpus*, *Malpighia*, *Pogonopus*, *Amirys*, *Melicocca*. Además reporto que de las 86 familias encontradas, las más ricas en cuanto a número de especies fueron: Euphorbiaceae, Fabaceae, Rubiaceae, Asteraceae, Sapindaceae, Malpighiaceae, Solanaceae, Malvaceae, Verbenaceae, Apocynaceae, Bignoniaceae, Acanthaceae, Piperaceae, Araceae, Caparidaceae, Boraginaceae, Bromeliaceae, Convolvulaceae, Meliaceae.

### ▪ Asociaciones ecológicas en humedales y pantanos

En los humedales las comunidades vegetales varían según las condiciones hídricas. Hernandez y Rangel (2009), definieron una serie ecológica hídrica para el humedal urbano de Jaboque en el departamento de Bogotá, donde se diferenciaron 14 comunidades vegetales divididas en cuatro grupos; vegetación de ribera, vegetación de pantano, vegetación transicional acuática-terrestre y asociaciones de espejos de agua.

La vegetación de ribera caracterizada por, *Schoenoplectus californicus*, *Juncus effusus*, *Typha latifolia* y *Polygonum punctatum*; La vegetación en sitios pantanosos con herbazales de *Rumex conglomeratus*, *Polypogon elongatus* y el cortaderal de *Carex luridiformis*; La zona transicional acuática-terrestre con camalotes de *Bidens laevis*, *Ludwigia peloides*, *Hidrocoyle ranunculoides* y *Polygonum punctatum*; y las zonas de espejo de agua reducido, *Lemna minuta*, *Lemna gibba*, *Limnobium laevigatum* y *Spirodela intermedia*.

En los humedales y ciénagas del Caribe Colombiano se puede encontrar asociaciones ecológicas en las zona terrizadas como bosques de *Casearia tremula*, en el pantano Cyperaceae, Poaceae y Herbazales de *Polygonum*, en la ribera totorales con *Typha domingensis* y gramalotales de *Paspalum repens*, y en el espejo de agua vegetación flotante con asociaciones de *Lemna - Pistiaestratiotes*, *Eichhomia crassipes* y *Ceratophyllum demersum* (García, 2011).

En los ambientes estuarinos de La Bahía de Cispatá, en la zona de playón se encuentran *Ambrosia peruviana* y *Solanum*, en el bosque pantanoso (llanura aluvial) *Iriartea deltoidea*, *Lonchocarpus*, *Senna*, *Cecropia*, *Cecropia*, *Senna* y *Miconia/Terminalia*, en la rivera *Symeria paniculata*, *Phyllanthus elsiae*, *Hippomane mancinella*, *Ficus* y *Senna*, en el espejo de agua *Eichhornia crassipes*, *Sagittaria*, *Ceratopteris deltoideae* *Hydrocotyle*, en el pantano Cyperaceae, *Thypha dominguensis*, *Amaranthaceae-Chenopodiaceae*, *Lycianthes lenta*, *Euphorbia hirta* y *Eclipta* y el gramalotal de Poaceae (Betancourt & Rangel, 2012)

En la ciénaga de Luruaco al sur del departamento del Atlántico, se encuentran asociaciones vegetales como: vegetación acuática con *Spirogira* y *Convolvulaceae*, vegetación de pantano como Cyperaceae, *Chenopodiaceae*, *Alternanthera*, *Ludwigia* y *Polygonum*, vegetación de bosque inundable con *Sida* y *Bombacaceae*, y Bosque de tierra firme con *Apocynaceae*, *Melastomataceae*, *Mimosaceae*, *Myrtaceae*, *Sapindaceae*, *Malpighiaceae*, *Ilex* y *Protium*.

En valle del Cauca (Berrío et al., 2002) y del Patía (Vélez et al., 2004) se han desarrollado trabajos en vegetación de bosque seco, que muestra la sensibilidad de este ecosistema antes las cambios ambientales y la intervención humana, registrando la historia del bosque y sus cambios de composición a través del Holoceno.

En la zona del valle del Cauca la composición del bosque seco estaba representada por taxa como *Crotolaria*, *Moraceae/Uticaceae*, *Melastomataceae/Combretaceae*, *Anacardeaceae*, *Tabebuia*, *Anonaceae*, *Piper*, arboles de bajo porte como *Acalypha*,

*Alchornea*, *Cecropia*, *Celtis* y vegetación de pantano como *Begonia*, Cyperaceae y *Ludwigia*.

En el Valle del Patía, el bosque seco estaba compuesto por *Acalypha*, Moraceae/Urticaceae, *Portulaca*, *Psichotria*, *Casearia*, *Mimosa* y la vegetación de pantano por Cyperaceae, *Typha* e *Isoetes*.

#### **2.1.4 Perdidas por ignición (LOI) en sedimentos lacustres**

La determinación del porcentaje en peso de materia orgánica LOI se basa en un calentamiento secuencial del sedimento en un horno (Dean, 1974; Bengtsson & Enell, 1986). Después de someter a secado la muestra a peso constante 105°C durante 24 h, la materia orgánica experimenta una combustión a 500-550°C, provocando, con este primer paso, la formación de CO<sub>2</sub> y ceniza.

La utilidad de este método se basa en la asociación del contenido de materia orgánica con las variaciones en precipitación, teniendo en cuenta que la interpretación debe estar sujeta a los factores como la geología, topografía y la vegetación de la zona de estudio.

Estudios realizados en el lago Sanabria en la península Ibérica (2003), muestran altas concentraciones de materia orgánica en sedimentos depositados durante periodos climáticos húmedos, esto se presenta debido a que los regímenes de altas precipitaciones promueven la producción primaria en el lago y la acumulación de materia orgánica alóctona. En cambio, las bajas concentraciones de materia orgánica en el sedimento, es asociado a condiciones secas, debido al menor arrastre de materia orgánica alóctona y a la disminución de la producción primaria.

En contraste, en las zonas altas como Páramos y en sistemas lacustres con influencia fluvial, la acumulación de contenidos más orgánicos sucede en épocas de menor precipitación y el alto contenido mineral, se asocia a periodos de mayor precipitación que son los responsables del arrastre de sedimentos por escorrentía y/o inundaciones y en consecuencia altas tasas de acumulación mineral (Haug, 2001; Vélez, 2004; Velásquez, R., 2013).

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Obtención de las muestras

Los núcleos se extrajeron con una sonda tipo rusa de 50 cm de largo y 5 cm de diámetro y la de suelo con un perfil de aluminio de 50cm de largo, 10cm de ancho y 5cm de altura. Los núcleos de sedimentos fueron descritos, fotografiados, en campo y finalmente transportados al Laboratorio de Palinología de la Universidad Nacional.

En el laboratorio se realizó una descripción más precisa de los núcleos, estos fueron seccionados centímetro a cada centímetro, empacados en bolsas plásticas selladas y rotuladas. Para el análisis microfósil se tomaron submuestras de un centímetro cúbico cada 4 centímetros. La preparación de las muestras en el laboratorio se realizó de la siguiente manera:

- En un tubo de ensayo se disolvió 1 cc de la muestra utilizando agua amoniacal al 10%. Se centrifugó a 3500 rpm (se hizo igual en todos los pasos) y descartó el sobrenadante.
- El residuo se lavó con unos 20mL de agua destilada y se repitió el procedimiento por tres veces. Luego se procedió a eliminar los carbonatos presentes en los sedimentos, se dejó el sedimento en 15 mL de HCL al 10% por 15 minutos, después se lavó con agua destilada.
- Posteriormente se procedió a eliminar los silicatos de la muestra dejando el residuo en 35mL de HF durante 24 horas. El residuo se lavó con unos 20mL de agua destilada y se repitió el procedimiento por cuatro veces.
- El residuo se lavó con unos 10 mL de agua amoniacal y luego se lavó con 20 mL de agua destilada y se repitió el procedimiento por tres veces. Posteriormente se pasó por una malla 0.150 mm. Los macrorrestos se conservaron en agua destilada. Luego de pasar por un tamiz 10 micras, se guardó el retenido en la maya.

- El residuo se lavó dos veces con 10 mL. de etanol al 50% y al 100%, se agitó suavemente, se centrifugó y se botó el sobrenadante. Al residuo final se le agrego glicerina hasta completar 1.5 mL. Este volumen fue constante para todas las muestras.

### **2.2.2 Montaje de placas**

Se agitó manualmente el recipiente que contenía el polen, se extrajo con una pipeta a pistón coeficiente de variación 0.25%, una alícuota de 7 microlitros para el análisis polínico.

- Se montaron entre 3 y 4 placas permanentes, por muestra, usando como medio gelatina glicerinada y sellando con parafina.
- Las placas se conservaron en forma horizontal y se rotularon con la identificación serial de la palinoteca y otros datos relevantes a la muestra.

### **2.2.3 Análisis microfósil**

Antes de proceder al conteo polínico se identificó el número de granos a contar, para esto se realizó un censo en el que se utilizo los sedimentos superficiales, que permitió conocer la diversidad polínica reciente y realizar una curva de saturación en la que se encontró el numero de granos a contar, que representaron entre el 60-70 % de la diversidad polínica.

Este censo se realizó utilizando alícuotas de 7 microlitros que permitió tener mayor precisión la concentración de granos de polen en las muestras y la tasa de acumulación de polen/área/tiempo. Las curvas de concentración se realizaron en Excel.

### **2.2.4 Agrupaciones ecológicas**

Para el análisis del clima y la vegetación se definieron dos grupos ecológicos basados en su hábito y en su distribución alrededor del humedal (Restrepo, 2003).

El grupo determinado según su habito, se separo en árboles, arbustos, helechos, herbáceas, lianas, múltiples hábitos, palmas y trepadoras. El grupo basado en la distribución alrededor del humedal se clasificó en: vegetación acuática, compuesta por *Typha domingensis*; vegetación de pantano representada por Cyperaceae e *Iseia*

*luxirians*; vegetación de borde de pantano compuesta con *Acrostichum sp*, *Apiaceae sp*, *Asplundia sp*, Pteridophyta y Poaceae.

Debido a que las comunidades vegetales presentes en humedales varían estacionalmente de acuerdo con el régimen de inundación (García, 2011), la interpretación de registro palinológico se realizó con base a la distribución de los taxa alrededor de humedal, ya que estas fueron las que mostraron mayor variabilidad a lo largo de la columna sedimentaria.

La presencia de *Typha domingensis* se interpretó como una época de alta precipitación, debido a que esta planta se encuentra en zonas inundadas, llanuras de inundación y forman cinturones de vegetación palustre en los márgenes de los lagos y lagunas (García, 2011).

La presencia de Cyperaceae se asoció a épocas de menor precipitación, debido a que estas plantas se encuentran en hábitats donde el espejo de agua está reducido y en ambientes de pantano, turbera y riveras de corrientes fluviales (Hernandez, R et al, 2009; García, 2011).

Las plantas como *Acrostichum sp*, *Apiaceae*, *Asplundia sp*, Pteridophyta y Poaceae, se asocian a épocas secas, a ambiente de pantano y praderas (Berrio, 2002; Restrepo & Toro, 2003; García, 2011; Castillo, 2016).

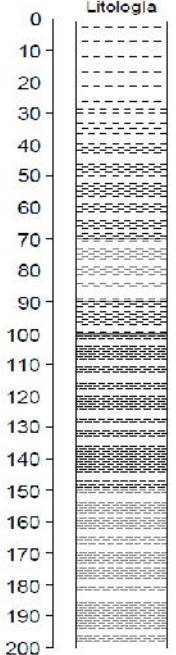


### 3. Resultados

#### 3.1 Estratigrafía

A continuación se presentara la columnas estratigráfica y la descripción del núcleo de sedimentos analizados en el humedal La Bramadora, ver (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Tabla 3-1:** Columna estratigráfica general de los sedimentos del Humedal la Bramadora.

Columna estratigráfica	Profundidad	Descripción
	<b>0-30cm</b>	Arcilla limosa de color gris con abundantes fragmentos de raíces y hojas.
	<b>30-40cm</b>	Arcilla limosa de color gris con raíces y fragmentos de hojas.
	<b>40-50cm</b>	Arcilla limosa de color gris con láminas de materia orgánica y algunos restos de raíces.
	<b>50-90cm</b>	Arcilla gris con fragmentos orgánicos, con laminaciones de materia orgánica.
	<b>90-100cm</b>	Arcilla gris con bandas de materia orgánica 3-5mL.
	<b>100-101cm</b>	Arcilla parda, con restos vegetales, con limite neto superior.
	<b>101-150cm</b>	Arcilla limosa de color gris, con laminaciones de materia orgánica, con mayor concentración y espesor hacia el techo.
	<b>150-200cm</b>	Arcilla limosa de color gris claro moteada con una arcilla limosa de color gris más oscura.

## 3.2 Zonación palinológica

En una profundidad de 200 cm se analizaron 56 muestras que fueron distribuidas cada 4cm, se contaron aproximadamente 9252 taxa de polen y esporas. Se hicieron dos diagramas palinológicos teniendo en cuenta, en el primero, los hábitos de la vegetación presente en el conteo: Árboles, arbustos, helechos, herbáceas, palmas, trepadoras y lianas. En el segundo, la vegetación alrededor de la zona de estudio: Vegetación acuática, de pantano, de borde de pantano y regional, ver figura 1 y 2. Mediante el análisis jerárquico CONNISS (Grimm, 1987) se identificaron cambios en las asociaciones palinológicas a lo largo de la columna sedimentaria, que fueron divididos en cinco zonas: I, II, III, IV y V.

### 3.2.1 Zona V (200-169 cm) (11 muestras)

En esta zona la vegetación acuática representa el 61%, compuesto por *Typha domingensis*. El borde de pantano 24%, con Pteridophytas 22% y Anemia 2%. El pantano 7% con *Psychotria sp* 6% y Cyperaceae 1%. La vegetación regional regional representa el 5% con *Amaranthus sp* 1%, *Chamaesyce sp* 1% entre otras.

Esta zona se caracteriza por el dominio de la vegetación acuática, sus valores oscilan entre 26% y 85%. En la vegetación de borde y regional se observa un aumento que va desde un 10-35% para la vegetación de borde y de un 5-8% para la regional. La vegetación de pantano es poco frecuente en esta zona, con valores máximos del 5%.

La vegetación de bosque seco secundario registra un incremento con aparición de *Maclura sp* que aumenta hasta el techo de zona, ver figura 3.

### 3.2.2 Zona IV (169-113 cm) (15 muestras)

En esta zona la vegetación acuática constituya el 13%. La vegetación de pantano representa el 13% y la vegetación de borde 54%. La vegetación regional constituye el 20%. Esta zona es dominada por las Pteridophyta, que alcanzan un porcentaje máximo de 69%. La vegetación de pantano muestra un pulso en el centímetro 156 donde alcanza

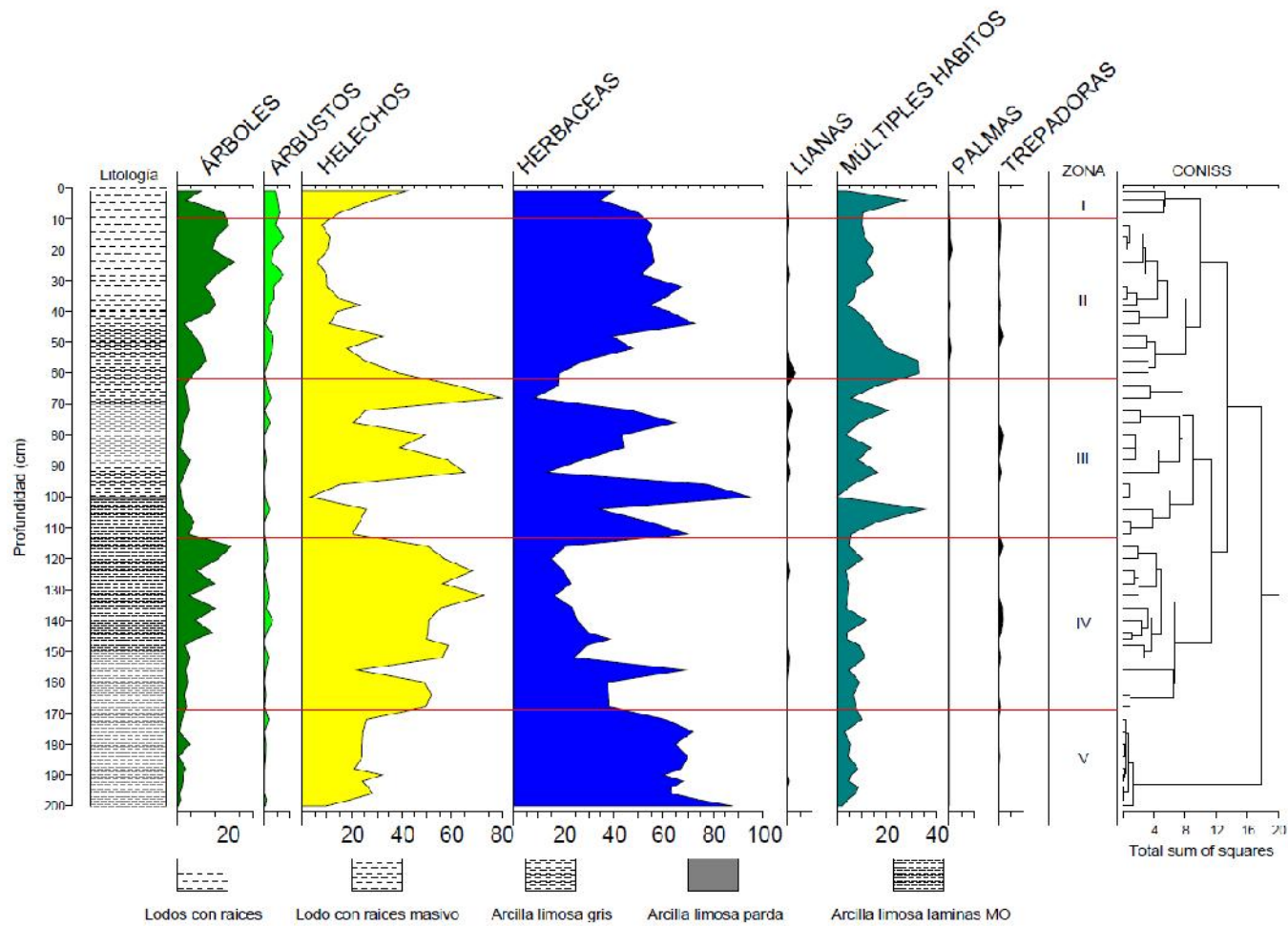
---

su valor máximo de 56%, al contrario de la vegetación regional, de borde y acuática que refleja un comportamiento opuesto en el mismo centímetro. En general se observa una disminución de la vegetación acuática, con pulsos en el centímetro 146 con 24% y 160 con 27%. Desapareciendo casi por completo hacia el techo de la zona.

La vegetación de bosque seco secundario registra un incremento con aparición de *Cecropia peltata* en el centímetro 128 y el incremento de *Maclura sp.*

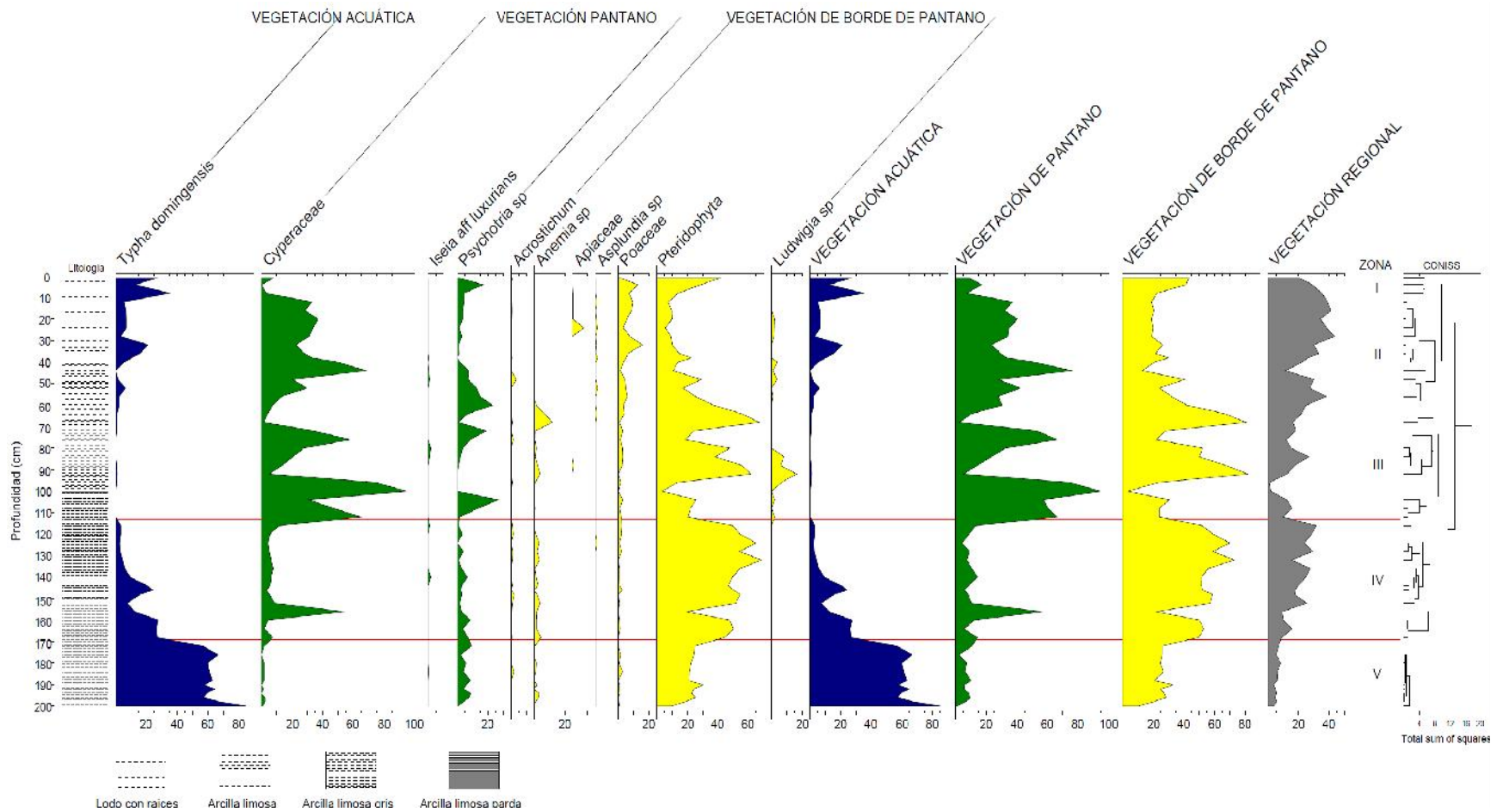


**Figura 3-1:** Diagrama de porcentajes polínicos del humedal La Bramadora. Se muestra, profundidad, estratigrafía. Los grupos ecológicos se organizaron según su habito en: Árboles, arbustos, helechos, herbáceas, lianas, múltiples hábitos, palmas y trepadoras. Las líneas de color rojo continuas muestran la división de definida por CONISS.

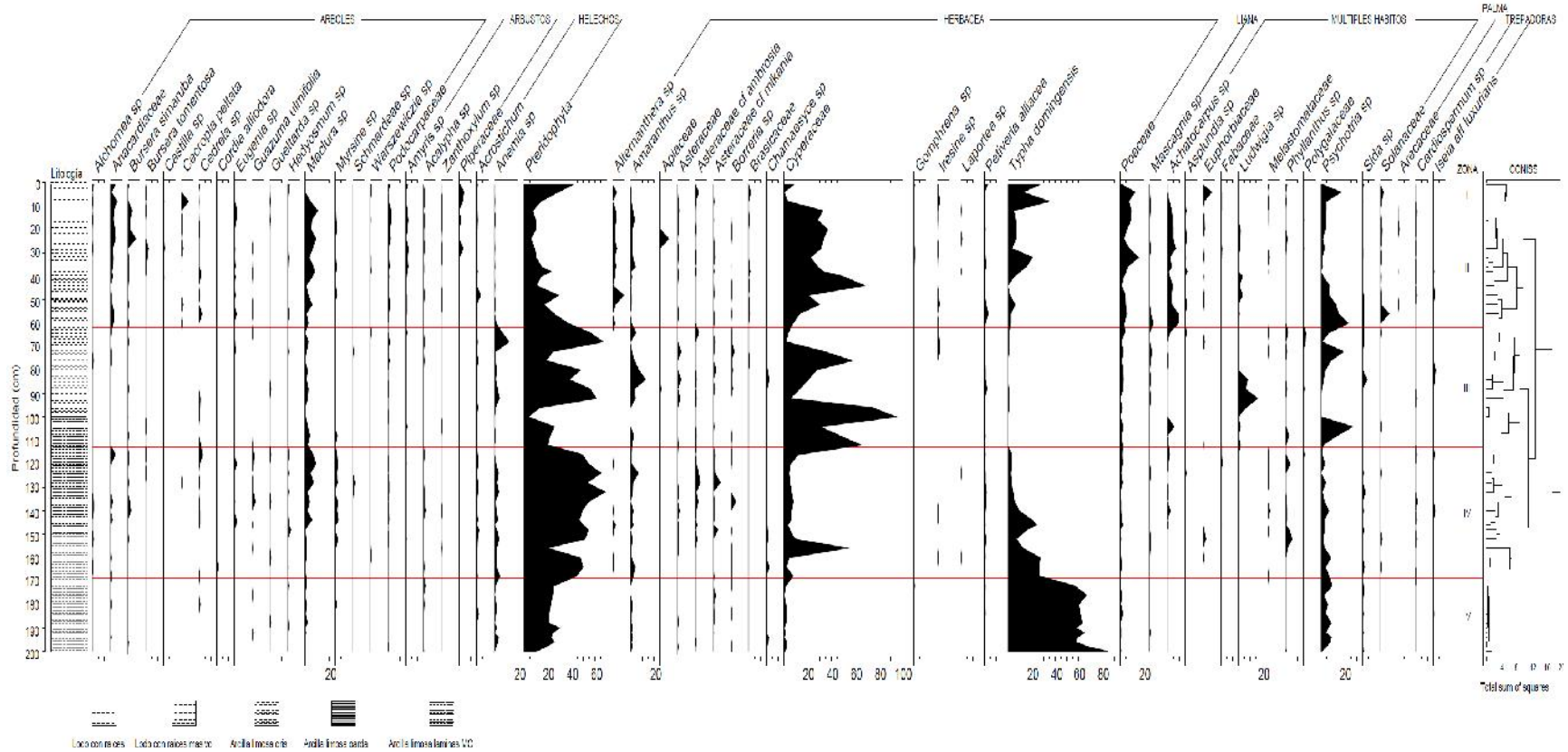




**Figura 3-2:** Diagrama polínico del humedal La Bramadora. Se muestra la profundidad, estratigrafía, zonación palinológica, estratigrafía y grupos ecológicos organizados según su distribución en la de zona: Vegetación acuática, vegetación de pantano, vegetación de borde de pantano y vegetación regional. Las líneas de color rojo continuas muestran la división de definida por CONISS



**Figura 3-3:** Diagrama polínico del humedal La Bramadora. Se muestra la profundidad, estratigrafía, zonación palinológica, y grupos ecológicos organizados según su habito en: Árboles, arbustos, helechos, herbáceas, lianas, múltiples hábitos, palmas y trepadoras.





### **3.2.3 Zona III (113-62 cm) (12 muestras)**

Esta zona se caracteriza por la ausencia de la vegetación acuática. La vegetación de pantano alcanza un 43% con *Cyperaceae* 37% y *Psychotria sp* 6%. Y la de borde de pantano 43%, esta última representada en mayor proporción por Pteridophyta con 35%. La vegetación regional presenta un 14%, con *Amaranthus sp* 3%, *Asteraceae* 2%, *Achatocarpus sp* y *Borreria sp* con 1% como taxa más frecuentes.

La vegetación de pantano muestra tres pulsos en 76 cm, 100 cm y 112 cm, donde alcanza valores de 58%, 95% y 65%, respectivamente. La vegetación de borde y regional muestra un comportamiento inverso a la de pantano, registrando sus valores mínimos en dichos pulsos. El bosque seco y bosque seco secundario fluctúa a lo largo de la zona, con una tendencia negativa.

### **3.2.4 Zona II (62-10 cm) (14 muestras)**

La vegetación acuática constituye un 7% de la zona. La de pantano 37%, con *Cyperaceae* 31% y *Psychotria sp* 6%. La vegetación de borde de pantano cubre un 25%, con Pteridophyta alcanzando un 16% y *Poaceae* 6%. La vegetación regional representa un 31%, con *Maclura sp* 5%, *Achatocarpus sp* 5% y *Alternanthera sp* 2% como taxa dominantes.

En este segmento *Typha domingensis* muestra un aumento, que se hace más notoria hacia el techo de la zona; con dos pulsos: en el centímetro 52 y 32 con un valor de 6% y 20% respectivamente, siendo este último donde alcanza su valor máximo en la zona.

La vegetación de pantano domina esta zona, con un pulso en 44 cm donde alcanza un 67% correspondiente a su valor máximo. La vegetación regional muestra un aumento hacia el techo de la zona y un pulso negativo en 44 cm (opuesto al de pantano), que también puede de ser observado en la vegetación acuática y de borde de pantano.

La vegetación de borde fluctúa a lo largo de la zona, donde sus máximos coinciden con los mínimos de vegetación de pantano.

El bosque secundario registra un incremento con el aumento de *Maclura sp* y *Cecropia peltata*.

### 3.2.5 Zona I (10-0 cm) (3 muestras)

En esta zona la vegetación acuática representa un 25%. La vegetación de pantano presenta un 11% con *Psychotria sp* (8%) y Cyperaceae 3%. La de borde de pantano constituye el 36%, con Pteridophyta (28%) y Poaceae (7%) como elementos dominantes. La vegetación regional representa el 28%, los más abundantes son: Anacardiaceae (4%), Euphorbiaceae sp (3%), *Cecropia peltata* (2%), Piperaceae (3%) y *Maclura sp* (1%).

Hacia el techo y la base de la zona, la vegetación acuática muestra dos pulsos, el primer pulso en el centímetro 8 con un 35% y el segundo cerca al centímetro 1 representado con un 25% aproximadamente. La vegetación de pantano muestra sus valores máximos hacia el centro de la zona. En la vegetación de borde los valores mínimos se ubican hacia la parte inferior de la zona y aumenta rápidamente hasta llegar al techo. La vegetación regional muestra una disminución en este segmento y el bosque seco secundario disminuye súbitamente a partir del centímetro 8.

## 3.3 Pérdidas por ignición

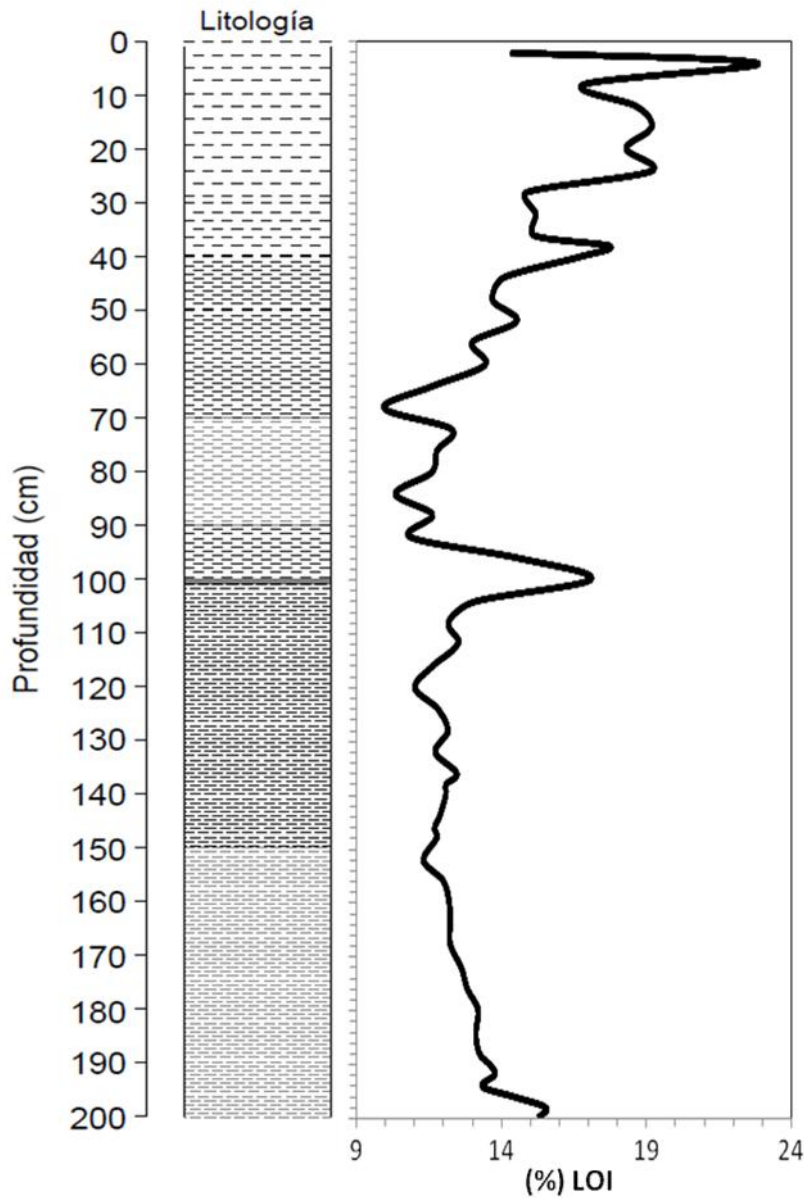
Los resultados encontrados en el análisis de pérdidas por ignición son congruentes con los datos palinológicos. La vegetación acuática y el contenido de materia orgánica presente en los sedimentos mostraron una tendencia similar ante los cambios de precipitación.

El contenido de la materia orgánica a lo largo del núcleo fue variable, los valores de LOI se variaron entre 10% y el 25%.

En la base del núcleo, entre el centímetro 200-120, correspondiente a un sedimento limo arcilloso el LOI exhibió contenidos de materia orgánica entre 11% y 15%. Entre el centímetro 120-60, con un sedimento arcilloso el LOI mostró bajos contenidos de materia orgánica con un rango entre 9% y 12%, con un pulso en el centímetro 100 donde alcanza un 17% (arcilla parda con restos vegetales).

En la parte superior del núcleo donde predominó los sedimentos arcillo limosos con abundantes restos vegetales, se observó la zona con mayor contenido de materia orgánica a lo largo del núcleo, con valores entre 13% y el 23%. ver Figura 3-4.

**Figura 3-5:** Representación de las pérdidas por ignición (LOI) obtenidas en los primeros 200 centímetros del humedal La Bramadora.



## 4. Interpretación y discusión

Mediante dataciones con  $^{14}\text{C}$  realizadas por Restrepo y Toro (2003) en los sedimentos del humedal La Bramadora se encontró una tasa de sedimentación de aproximadamente 1cm por año y utilizando esta información consideramos que los 200cm de sedimentos analizados en este trabajo representan la dinámica del clima y la vegetación de los últimos doscientos años del humedal La Bramadora. Debido a la resolución quinquenal del conteo y a la falta de dataciones de este trabajo, no es confiable relacionar cambios climáticos con ciclicidades menores a 8 años, como es el caso del ENSO, por lo tanto el análisis se concentra en los cambios climáticos y de vegetación de escalas mayores. Doce dataciones con Plomo estarán disponibles en tres meses y esta discusión podrá afinarse con miras a una publicación.

Entre el centímetro 200-169 se registró un periodo húmedo, evidenciado por el dominio a lo largo de todo el segmento de la vegetación acuática y fuerte retroceso de la vegetación de pantano. Los datos del LOI confirman esta tendencia ya que hay incremento de materia orgánica en los sedimentos, debido básicamente a la fuerte presencia de la macrófita *Typha dominguensis*. La fracción limosa también es importante, pues los suelos desnudos que rodean este humedal son una fuente importante en fases de mayor precipitación; pero esta fracción podría estar un poco enmascarada por la fracción orgánica, ya que el tamaño y abundancia de las macrófitas acuáticas dejan mucho resto orgánico. Agua, minerales y altas temperaturas podrían ser ingredientes para el incremento de la productividad primaria en el humedal, como lo sugiere Luque (2003), para otros ecosistemas.

Esta fase húmeda, también fue registrada por la vegetación acuática en los Páramos de Frontino y Belmira (Velásquez, 2004; Castañeda, 2013) y podría representar uno de los últimos pulsos de LIA, que en este sector del País se registró como pulsos generalmente

fríos y húmedos. Respecto de la temperatura, es poco lo que se puede decir de este registro, porque al parecer la vegetación regional sigue en buena medida cambios en la vegetación de pantano y borde de pantano; significando que está más influenciada por las condiciones hídricas que por los cambios en la temperatura.

Esta condición de humedad disminuyó progresivamente y con altibajos, entre el centímetro 169-113, mostrando un clima húmedo estacional cuyo tope superior marcó el inicio de una temporada seca. La condición de menor precipitación en este periodo se ve reflejada en la disminución de la vegetación acuática, que se alternó con pulsos de vegetación de pantano e incremento de la vegetación de borde de pantano. En este intervalo el LOI muestra una disminución de la precipitación, mostrando contenidos cada vez menor de materia orgánica dentro de un sedimento limoso y reflejando la disminución de las macrófitas acuáticas. Esta zona, con disminución creciente de la humedad, es continuación de la última fase húmeda de LIA, mencionada arriba y registrada también en en Frontino, Isla de San Andrés y Belmira alrededor de 100 años BP (Velásquez, 2004; Gonzales & Urrego, 2010; Castañeda, 2013).

El intervalo 113-62 corresponde a un periodo muy seco, en el cual hubo un predominio de la vegetación de pantano, de borde de pantano y ausencia casi total de vegetación acuática. La vegetación regional se vio disminuida. Los contenidos de materia orgánica del LOI fueron bajos y la fracción arcillosa dominó en la mayor parte del segmento, con excepción del centímetro 100 donde se observó un súbito incremento de la materia orgánica, debido probablemente a que justo en este punto se registró el mayor porcentaje de Cyperaceae en el núcleo y el menor de *Typha* y otros elementos de borde de pantano. Esta tendencia hacia un clima seco también fue observado al sur del valle del Cauca (Berrio, 2001) donde en 100 cal BP se registró una declive de la vegetación de pantano. De igual manera, en Frontino se evidenció en 100 años BP un pulso muy frío y seco que fue comparado con el mínimo de Maunder, de La Pequeña Edad de Hielo (Velásquez, C. 2004).

El intervalo 62-10cm muestra el comienzo de un periodo húmedo estacional, registrado como una disminución progresiva de vegetación de borde de pantano, aunque con altibajos, e incremento de Cyperaceae y de la acuática *Typha domingensis*. El incremento de las gramíneas en el techo de este núcleo, esta zona y la siguiente, podría

estar relacionado con la actividad antrópica que se presenta en las inmediaciones del humedal. En este intervalo del núcleo, el LOI muestra alto contenido de materia orgánica dentro de una fracción mineral, más limosa hacia el final de la zona, asociado probablemente a mayor precipitación y crecimiento de macrófitas acuáticas. En Páramo de Frontino esta zona se registra con tendencia a ser húmeda (Velásquez, 2004).

Los 10 cm superiores del núcleo muestran condiciones de clima húmedo con un pulso seco en el centímetro 4. Estas condiciones de humedad son representadas por el incremento de *Typha domingensis*; sin embargo, las condiciones de humedad debido al clima, podrían estar sobreestimadas debido a la actividad antrópica registrada en los últimos años (viviendas y criaderos de peces en los alrededores) que han generado un aumento artificial en el espejo de agua del humedal e incremento del aporte de materia orgánica al mismo. Los resultados encontrados en el análisis de pérdidas por ignición en los primeros 10 cm muestran, acorde con lo anterior, una semejanza con la curva de la vegetación acuática, ya que exhibe los mayores contenidos de materia orgánica del núcleo dentro de un material limoso.

En términos generales, un comportamiento similar a lo encontrado en el humedal La Bramadora para los últimos 200 años, se observa en los núcleos Quilichao-1 y la Teta extraídos en el sur del valle del Cauca (2002), entre las cordilleras Occidental y Central; mostrando un periodo húmedo con un pulso más seco alrededor de 100 años BP. En otros sitios relativamente cercanos a este humedal como Páramo de Frontino en la cordillera Occidental (Velásquez, 2004) y Páramo de Belmira (Castañeda, 2014), las tendencias de un periodo húmedo en los últimos 200 años con un pulso seco alrededor de 100 años BP son también similares. El humedal El Triunfo en el Nevado del Ruiz (Giraldo, J, 2015), permaneció como un pantano en los últimos 200 años, con algunas oscilaciones más secas o más húmedas, mostrando la última década como más seca, quizá como efecto de la fuerte actividad ganadera y cultivos en los alrededores inmediatos del humedal (Giraldo, 2015).

Una tendencia opuesta, pero correlacionable se puede observar en el Caribe como es el caso del núcleo de Calancala ubicado cerca de la ciudad de Riohacha en la península Guajira donde se observó un periodo seco entre 450 y 150 años BP (Urrego, Correa, González, Castaño & Yokoyama, 2013), y en la cuenca anóxica de Cariaco, ubicada al

norte de Venezuela, donde se observa la transición de un clima seco (200-150 años BP) a húmedo (150-100 años BP), como resultado de la migración de la ZCIT hacia el norte al final de la Pequeña Edad de Hielo (Haug, 2001). En la cuenca de Cariaco no se presentó un reporte del comportamiento del clima en los últimos 100 años del Holoceno.

La falta de investigaciones con resoluciones a escala anual en ecosistemas de tierras bajas y los pocos ambientes sedimentarios en el trópico que conserven los últimos 200 años del Holoceno, hace difícil tener una correlación precisa de los cambios en la precipitación y en la vegetación del Humedal La Bramadora. Trabajos como los de Betancourt (2012) en la Ciénaga de Luruaco, García y Rangel (2012) en las ciénagas de Córdoba; Palacios, Rodríguez y Rangel (2012) en la Bahía de Cispatá y Torrescano y Islebe (2015) en la península de Yucatán, presentan bajas resoluciones y no permiten hacer una correlación adecuada con nuestro registro.

Otras investigaciones con buena resolución son las de Urrego et al., (2013) y Gonzales y Urrego (2010) realizados en ecosistemas de manglar. Aquí, los primeros 180 centímetros del núcleo de Calancala en el delta del río Ranchería y los primeros 140 centímetros del núcleo de Bahía Honda en San Andrés, presentan una edad aproximada de 200 y 230 años BP  $^{14}\text{C}$ , respectivamente. Con estos trabajos hay que tener en cuenta que estudian la dinámica compleja de estos ecosistemas y la respuesta a cambios ambientales: Ellos no solo son sensibles a cambios en la precipitación sino también a la progradación, flujo de agua dulce, salinidad, cambios en el nivel del mar, temperatura del aire, tipo de suelo, geomorfología, disponibilidad de nutrientes y concentraciones de  $\text{CO}_2$  (Krauss et al, 2008), y por lo tanto es difícil comparar con los cambios en bosques secos del interior. A pesar de todo hay una tendencia similar entre estos registros. Se observa un incremento generalizado de los ecosistemas de manglar en los últimos 150 años posiblemente asociado a condiciones más húmedas posteriores al final de LIA (Gonzales y Urrego, 2010; Urrego, et al, 2013).

Los cambios en la precipitación en este núcleo podrían asociarse con variaciones en la actividad solar (Ruddiman, 2008; Luterbacher et al., 2001) y cambios en la posición e intensidad de la Zona de Convergencia Intertropical (Haug, 2001). La presencia de múltiples pulsos secos y húmedos, registrados en la variación de las plantas acuáticas y de pantano, podría estar relacionadas con ENSO, pero para asegurarlo habría que tener

primero unas dataciones precisas y luego un análisis de series de tiempo. Esto se hará inmediatamente tengamos las dataciones que esperamos.



## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

En la base de la secuencia sedimentaria (200-169 cm), se alcanzaron los máximos valores de acuáticas y mínimos de vegetación regional, indicando respectivamente, que este periodo fue muy húmedo (probablemente frío), donde dominaba un ambiente sedimentario lacustre. Este periodo probablemente refleja el final de LIA (100 años BP), reportado también como frío y húmedo en el cercano Páramo de Frontino de la cordillera Occidental y Belmira de la cordillera central. Es muy probable que la disminución de la vegetación regional (árboles, arbustos y otros hábitos) sea más bien un reflejo del nivel de agua en la cuenca que de variaciones en la temperatura.

En los centímetros subsiguientes (169-113 cm) hubo una progresiva disminución de la precipitación (disminución de *Typha* y aumento de plantas de borde de pantano) con ligero incremento de la vegetación regional, pero aun con un ambiente sedimentario lacustre. Esta misma tendencia fue reflejada por los datos de LOI de los primeros 120 centímetros de estas zonas, indicando condiciones de alta precipitación al comienzo, con una notoria disminución hacia los centímetros superiores e incremento de la vegetación de bosque seco secundario, asociado a la formación de claros por la intervención humana.

Entre el centímetro 113-62 el clima fue seco, con ausencia de acuáticas y por lo tanto de espejo de agua. En este ambiente de pantano en que alternaron Cyperaceae y helechos de borde, el aporte orgánico fue bajo y, debido a la poca energía en la cuenca el material mineral allegado por escorrentía de las rocas sedimentarias circundantes, fue de tipo

limoso. La vegetación regional disminuyó, aunque con fuertes altibajos asociados al parecer con la variación de la vegetación de pantano y borde de pantano. En esta zona también se registró una marcada disminución de los árboles y arbustos de bosque seco y de bosque secundario.

Los centímetros 62 al techo de la secuencia marcan la transición de un clima seco a un clima ligeramente húmedo y estacional, con un máximo en las precipitaciones entre el centímetro 42-28. Este segmento es similar al comprendido entre el centímetro 113-62 donde dominó un ambiente palustre; sin embargo, en este segmento se destacó un marcado dominio de la Cyperaceae. Los resultados del LOI y la estratigrafía (limosa) indican condiciones de mayor precipitación. El aumento del bosque seco primario: *Achatocarpus sp*, Anacardiaceae, *Amyris sp*, *Bursera simaruba* y del bosque seco secundario: *Cecropia peltata*, Moraceae y Piperaceae durante este lapso de tiempo, puede ser asociado a la transición a un clima más húmedo y a la intervención antrópica (reacción de claros) respectivamente.

El registro palinológico que abarca desde el centímetro 10 hacia el techo, muestra evidencias en la vegetación y el LOI de un incremento en la precipitación; sin embargo, este registro no se puede interpretar tajantemente como un periodo muy húmedo, debido a que la actividad antrópica (incremento de la población y piscícolas) de los últimos años ha generado un aumento artificial en el espejo de agua.

## 5.2 Recomendaciones

Realizar un estudio multiproxi que incluya diatomeas y geoquímica de hierro y titanio, que permitan correlacionar los resultados del estudio palinológico para tener una información precisa sobre los cambios de precipitación y temperatura en el humedal.

Realizar dataciones con Pb a lo largo del núcleo con el fin de obtener un modelo de edad que permita una correlación directa con otros núcleos del trópico.

Aumentar la resolución del conteo con el fin de detectar ciclicidades climáticas como es ENSO mediante análisis onditas.

Realizar estudios de lluvia polínica en los sedimentos superficiales del humedal La Bramadora que permita tener una comprensión del espectro polínico a nivel local y regional.



## Bibliografía

Aguirre, J. (1975). Estudio preliminar sobre la vegetación de la finca "Cotové" (santa fe de Antioquia). Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia.

Alley, R. B., Mayewski, P. A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K. C. & Clark, P. U. (1997). Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology*, 25(6), 483-486.

Baker P. A., Seltzer G. O., Fritz S. C., Dunbar R. B., Grove M. J., Cross S. L., Tapia P., Rowe H. D. & Broda J. P. (2001). The history of South American tropical precipitation for the past 25,000 years. *Science* 291, 640–643.

Bengtsson, L. & Enell, M. (1986). Chemical analysis. *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*, 423-451.

Berrio, J. C. (2002). Late glacial and Holocene vegetation and climatic change in lowland Colombia. Ph. D. Thesis, University of Amsterdam.

Berrío, J. C., Hooghiemstra, H., Marchant, R. & Rangel, O. (2002). Late-glacial and Holocene history of the dry forest area in the south Colombian Cauca Valley. *Journal of Quaternary Science*, 17(7), 667-682.

Betancourt. A. & Rangel, J. O. (2012). Reconstrucción paleoecológica del holoceno tardío en la ciénaga de "Luruaco" Colombia *Diversidad Biótica XII La Región Caribe De Colombia*. En: Colombia ISBN: 978-958-761-215-8 ed: Empresa Editorial Universidad Nacional,145-164.

Blandón Montes, A. (2002). Principios de estratigrafía. Universidad Nacional de Colombia Medellín.

Bogotá, R. G., Groot, M. H. M., Hooghiemstra, H., Lourens, L. J., Van der Linden, M. & Berrio, J. C. (2011). Rapid climate change from north Andean Lake Fúquene pollen records driven by obliquity: implications for a basin-wide biostratigraphic zonation for the last 284 ka. *Quaternary Science Reviews*, 30(23), 3321-3337.

Bond, G. C., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., Menocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. & Bonani, G., 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278, 1257-1265.

Brenner, M., Leyden, B. W., Binford, M. & Hodell, D. (2001). Historia ecológica de la región Maya. In *Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas*, R. B. Primack, Fondo de cultura económica. México.

Briffa, K. R. (2000). Annual climatic variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees. *Quaternary science Review*, 19, 87-105.

Broecker, W. S. (2000). Abrupt climatic change: causal constraints provided by the paleoclimate record. *Earth Science Review*, 51, 137-154.

Brubaker, L. B. & Cook, E. R. (1984). Tree-ring studies of Holocene environments. In *Late-Quaternary Environments of the United States. Volume 2. The Holocene* (edited by H. E. Wright Jr.). Longman, London, 222-235.

Caballero, M., Lozano, S. & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria. Universidad Autónoma de Mexico*, 8(10), 2-12.

Castañeda, I. M. (2013). Paleoeología de alta resolución del Holoceno (11000 Años), en el Páramo de Belmira, Antioquia (Colombia) . Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Chavarriga, C. (1976). Estudio de la flora arbórea y arbustiva de la finca cotové y sus alrededores. Tesis de grado. Universidad nacional de Colombia.

Claud, C., Cagnazzo, C. & Keckhut, P. (2008). The effect of the 11-year solar cycle on the temperature in the lower stratosphere, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 70(16), 2031–2040.

Cook, C. D. (1990). Origin, autecology, and spread of some of the world's most troublesome aquatic weeds. In: A. H. Pieterse and K.J. Murphy, eds., *Aquatic Weeds. The Ecology and Management of Nuisance Aquatic Vegetation*. Oxford University Press, Oxford.

Cuna, E., Caballero, M., Zawisza, E. & Ruiz, C. (2015). Historia ambiental de un lago alpino en el centro de México (1230-2010). *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 18(2), 97-106.

Dean Jr, W. E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research*, 44(1).

Del Castillo-Batista, A. P., Figueroa-Rangel, B. L., Lozano-García, S., Olvera-Vargas, M. & Guzmán, R. C. (2016). Historia florística y ambiental del bosque mesófilo de montaña en el centro-occidente de México durante la pequeña edad de hielo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1), 216-229.

Del Valle, F., Fernández, D. & Santa, C. (1970). Estudio general de suelos y formaciones vegetales del municipio de Santa Fe de Antioquia. IGAC.

Dettinger, M. D., Battisti, D. S., Garreaud, R. D., McCabe, G. J. & Bitz, C. M. (2001). Interhemispheric effects of interannual and decadal ENSO-like climate variations on the Americas. *Interhemispheric climate linkages*, 1-16.

Espinal, L. & E. Montenegro. (1977). *Formaciones vegetales de Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, 201.

Espinal, L. (1985). Geografía ecológica del departamento de Antioquia. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía*, 38 (1): 24-39.

Espinal, L. (1992). Geografía ecológica del departamento de Antioquia (Zonas de vida) (Formaciones vegetales) del departamento de Antioquia. Facultad de Ciencias, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional, Sede Medellín.

Espinal, L.(1966). Esbozo de la geografía de las plantas del Departamento de Antioquía (Colombia). Universidad del Valle. Departamento de Biología.

Etter, A. (1993). Diversidad ecosistémica en Colombia hoy. En *Nuestra diversidad biótica*. CEREC y Fundación Alejandro Ángel Escobar. 43-61.

García, Y. & Orlando, J. O. (2012). Cambios en la vegetación y en las condiciones del clima durante el Holoceno en ciénagas de Córdoba (Colombia). *Colombia Diversidad Biótica XII: La región del Caribe de Colombia*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 165-198.

García, Y. (2011). Flora palinológica de la vegetación acuática, de pantano y de la llanura aluvial de los humedales de los departamentos de Córdoba y Cesar (Caribe Colombiano). *Caldasia*, 33(2).

Giraldo, J. (2015). Reconstrucción paleoclimática del Holoceno Tardío en el humedal El Triunfo, Parque Nacional Natural Los Nevados, Cordillera Central de Colombia.



Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias Geológicas. Manizales.

González, C., Urrego, L. E., Martínez, J. I., Polanía, J. & Yokoyama, Y. (2010). Mangrove dynamics in the southwestern Caribbean since the 'Little Ice Age': A history of human and natural disturbances. *The Holocene*, 20(6), 849-861.

González, Z., Hooghiemstra, H. & Vélez, M. I. (2012). Major altitudinal shifts in Andean vegetation on the Amazonian flank show temporary loss of biota in the Holocene. *The Holocene*, 22(11), 1227-1241.

Grimm, E. C. (1987). CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13(1), 13-35.

Groot, M. H., Hooghiemstra, H., Berrio, J. C. & Giraldo, C. (2013). North Andean environmental and climatic change at orbital to submillennial time-scales: Vegetation, water levels and sedimentary regimes from Lake Fúquene 130–27ka. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 197, 186-204.

Guiñez, M., Valdés, J. & Siffedine, A. (2010). Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 38(2): 242-253.

Haug, G. H., Hughen, K. A., Sigman, D. M., Peterson, L. C. & Röhl, U. (2001). Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science*, 293(5533), 1304-1308.

Hernández, J. & Rangel, O. (2009). La vegetación del humedal de Jaboque (Bogotá, DC). *Caldasia*, 31(2), 355-379.

Hodell, D. A., Curtis, J. H. & Brenner, M. (1995). Possible Role of Climate in the Collapse of Classic Maya Civilization. *Nature* 375, 391-94.

Holdridge, L. R., & Grenke, W. C. (1971). Forest environments in tropical life zones: a pilot study. Oxford. Pergamon Press.

Instituto Alexander von Humboldt, IAVH. 1997. Caracterización ecológica de cuatro remanentes de Bosque seco Tropical de la región Caribe colombiana. Grupo de Exploraciones Ecológicas Rápidas, IAVH, Villa de Leyva. pag. 76.

Instituto Alexander von Humboldt, IAVH. 1998. El Bosque seco Tropical en Colombia. Programa de Inventario de la Biodiversidad, Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental GEMA. Pag 5-10.

Instituto Alexander von Humboldt., Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia & Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar Missouri Botanical Garden. 2012. Biota Colombiana. ISSN 0124-5376 Volumen 13 Número 2. Especial Bosque Seco en Colombia.

Jojoa, M. (2007). Reconstrucción Palinológica de la Vegetación y el Clima durante el Holoceno Medio en el Sector Llano Grande, Páramo de Frontino, Antioquia, Colombia. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia.

Krauss, K. W., Lovelock, C. E., McKee, K. L., Lopez-Hoffman, L., Ewe, S. M. & Sousa, W. P. (2008). Environmental drivers in mangrove establishment and early development: a review. *Aquatic Botany* 89, 105–127.

Ledru, M. P., Jomelli, V., Samaniego, P., Vuille, M., Hidalgo, S., Herrera, M. & Ceron, C. (2013). The Medieval climate anomaly and the Little Ice Age in the eastern Ecuadorian Andes. *Clim. Past*, 9(1), 307-321.

Leyden, B. W., Brenner, M. & Dahlin, H. D. (1998). Cultural and climatic history of Cobá, a lowland Maya city in Quintana Roo México. *Quaternary Research* 49(1), 111-122.

Luque, J. A. (2003). Lago de Sanabria: un sensor de las oscilaciones climáticas del Atlántico Norte durante los últimos 6.000 años. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.

Luterbacher, J., Rickli, R., Xoplaki, E., Tinguely, C., Beck, C., Pfister, C. & Wanner, H. (2001). The late Maunder minimum (1675–1715) a key period for studying decadal scale climatic change in Europe. *Climatic Change*, 49(4), 441-462.

Magny M. (2004). Holocene climatic variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International* 113(1), 65–79.

Magny, M. (1993). Solar influences on Holocene climatic changes illustrated by correlation between past lake-level fluctuations and the atmospheric  $^{14}\text{C}$  record. *Quaternary Research*, 40(1), 1-9.

Magny, M. (1998). Reconstruction of Holocene lake-level changes in the Jura (France): methods and results. *Palaöklimateforschung* 25: 67–85.

Markgraf, V., Baumgartner, T. R., Bradbury, J. P., Diaz, H. F., Dunbar, R. B., Luckman, B. H., Seltzer, G. O., Swetnam, T. W. & Villalba, R. (2000). Paleoclimate reconstruction along the Pole–Equator–Pole transect of the Americas (PEP 1). *Quaternary Science Reviews*, 19(1), 125-140.

Martínez, J. I., Obrochta, S., Yokoyama, Y. & Battarbee, R. W. (2015). Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) forcing on the late Holocene Cauca paleolake dynamics, northern Andes of Colombia. *Clim. Past. Discuss.*, 11(4), 2649-2664.

Mayle, F. E., Burbridge, R. & Killeen, T. J. (2000). Millennial-scale dynamics of southern Amazonian rain forests. *Science*, 290(5500), 2291-2294.

Mejía, N. (1984). Geología y geoquímica de las planchas 130 (Santafé de Antioquia) y 146 (Medellín Occidental), escala 1:100.000, memoria explicativa. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).

Mesa, O. J., Poveda, G., & Carvajal, L. F. (1997). Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

Moore, P. D. & J. A. Wedd. (1978). An Illustrated Guide to Pollen Analysis. Hodder and Stoughton. London.

Morgan, V. I. (1985). An oxygen isotope climate record from the Law Dome, Antarctica. *Clim Change*, 7(4), 415-426.

Moy, C. M., Seltzer, G. O., Rodbell, D. T. & Anderson, D. M. (2002). Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. *Nature*, 420(6912), 162-165.

Muñoz, P. A. (2012). Holocene climate variability in tropical South America: case history from a high-mountain wet zone in NW Colombia based on palynology and X-ray microfluorescence. Doctoral dissertation. University of Geneva. Holanda.

Murphy, P. & A. Lugo. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual review of ecology and systematics*. 17, 67-68.

Orlove B. (2005). Human adaptation to climate change: a review of three historical cases and some historical perspectives. *Environmental Science & Policy* 8, 589-600.

Page, W. D. & Mattsson, L. (1981). Landslide lakes near Santa Fe de Antioquia. *Revista CIAF*, 6(1-3), 469-478.

Palacios, L., Rodríguez, P. & Rangel, O. (2012). Cambios en el clima y en la vegetación en ambientes estuarinos de la bahía de Cispatá (Córdoba-Caribe Colombiano). Colombia

Diversidad Biótica XII: La región del Caribe de Colombia. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 145-165.

Plazas C., Falchetti M., Sáenz, J. & Archila, S. (1993). La sociedad hidráulica Zenú. Banco de la República, Bogotá.

Rangel, J. O. (Editor) (2012). La región Caribe de Colombia. Colombia diversidad biótica XII. Bogotá, DC. Universidad Nacional de Colombia.

Rangel, J. O., Lowy, P. & Aguilar, M. (1997). Colombia diversidad biótica II tipos de vegetación en Colombia. La distribución de los tipos de vegetación en Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, Ministerio del Medio Ambiente, Colombia.

Rangel, J. O. (2000). La región paramuna y franja aledaña en Colombia. Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna. Bogotá. Editorial Unibiblos, 1-23.

Rangel, J. O. (2010). Colombia Diversidad Biótica IX: Ciénagas de Córdoba: Biodiversidad-Ecología y manejo ambiental. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales-CVS.

Restrepo, A. & Toro, J. (2003). Estudio de reconstrucción de la historia de la flora del bosque seco tropical en el occidente medio de Antioquia, con base en el análisis e identificación del polen fósil depositado en sedimentos de la cuenca de Santa Fe de Antioquia informe final. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA.

Richey, J. N., Poore, R. Z., Flower, B. P., Quinn, T. M. & Hollander, D. J. (2009). Regionally coherent Little Ice Age cooling in the Atlantic warm pool. *Geophysical Research Letters*, 36(21).

Ruddiman, W. (2008) *Earth's climate past and future*. W. H. Freeman and Company. New York.

Ruiz, C. A. V., Churio, J. O. R. & Van der Hammen, T. (2004). Paleoeología de alta resolución del Holoceno tardío en el Páramo de Frontino, Antioquia, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 9(2), 71.

Sculthorpe, C. D. (1967). *The Biology of Aquatic Vascular Plants*. Edward Arnold, London.

Serrano, C. I. & Reyes, P. C. (2014). Paleobotánica forense: Una aproximación a la tafonomía de plantas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(1), 25-39.

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, B. M. (2013). *Climate change 2013: the physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.

Suter, F., Martínez, J. I. & Vélez, M. I. (2011). Holocene soft-sediment deformation of the Santa Fe–Sopetrán Basin, northern Colombian Andes: Evidence for pre-Hispanic seismic activity?. *Sedimentary Geology*, 235(3), 188-199.

Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E. & Buffen, A. (2006). Glaciological evidence of temporal and spatial tropical climate variability. *American Geophysical Union. Fall Meeting Abstracts*, 1, p. 02.

Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Dansgaard, W. & Grootes, P. M. (1986). The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya Ice Cap. *Science*, 234(4774), 361-364.

Toimil, A., Losada, I. J. & Camus, P. (2016). Metodología para el análisis del efecto del cambio climático en la inundación costera: aplicación a Asturias. *RIBAGUA-Revista Iberoamericana del Agua*, 3(2), 56-65.

Torres, H. & Molina, J. M. (2012). Aproximación al patrimonio geológico y geodiversidad en Santafé de Antioquia, Olaya y Sopetrán, departamento de Antioquia, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (32), 23-33.

Torrescano-Valle, N., & Islebe, G. A. (2015). Holocene paleoecology, climate history and human influence in the southwestern Yucatán peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 217, 1-8.

Urrego, L. E., Correa-Metrio, A., González, C., Castaño, A. R. & Yokoyama, Y. (2013). Contrasting responses of two Caribbean mangroves to sea-level rise in the Guajira Peninsula (Colombian Caribbean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 370(15), 92-102.

Van der Hammen, T. (1992). *Historia, ecología y vegetación. Corporación Colombiana para la Amazonia - Araracuara - Bogotá*, 411p.

Van der Hammen, T. & Cleef, A. M. (1992). Holocene changes of rainfall and river discharge in Northern South America and the El Niño Phenomenon. *Erdkunde* 46: 252-256.

Van der Hammen, T. (1973). The Quaternary of Colombia: introduction to a research project and a series of publications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 14(1), 1-7.

Van Geel, B., Raspopov, O. M., Renssen, H., Van der Plitch, J., Dergachev, V. A. & Meijer, H. A. J. (1999). The role of solar forcing upon climatic change. *Quaternary Science Review*, 18, 331-338.

Vásquez, A. (2015). Modelación de distribución de especies arbóreas de Bosque Seco Tropical en Colombia para la priorización de áreas de conservación y restauración. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

Velásquez, C. (1999). Atlas palinológico de la flora vascular paramuna de Colombia: Angiospermae. UNAL- Medellín Facultad de ciencias, Colciencias, Medellín. 173 Paginas.

Velásquez, C. A. (2005). Paleoecología de alta resolución del Holoceno tardío en el Páramo de Frontino Antioquia. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Velásquez, C. A. & Hooghiemstra, H. (2013). Pollen-based 17-kyr forest dynamics and climate change from the Western Cordillera of Colombia; no-analogue associations and temporarily lost biomes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 194, 38-49.

Velásquez, C. A., Parra, L. N., Sánchez, D., Rangel, J. O., Ariza, C. L. & Jaramillo, A. (1999). Tardiglacial y Holoceno del norte de la Cordillera occidental de Colombia. Universidad Nacional de Colombia-Colciencias.

Velásquez, R. E. (2013). Paleoecología de alta resolución del final de la última glaciación y la transición al Holoceno en el Páramo de Belmira-Antioquia. Doctoral disertación, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Velez, G. (2005). Estudio Florístico del Bosque seco tropical en el cañón de río Cauca en el occidente medio de Antioquia. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia.

Vélez, M. I., Berrío, J. C., Hooghiemstra, H., Metcalfe, S. & Marchant, R. (2005). Palaeoenvironmental changes during the last ca. 8590 calibrated yr (7800 radiocarbon yr) in the dry forest ecosystem of the Patía Valley, Southern Colombian Andes: a multiproxy approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 216(3), 279-302.



Villalba, R., Dárrigo, R., Cook, E.R., Wiles, G. & Jacoby, G. C. (1999). Inter.-decadal climate oscillation along extra-tropical western coast of the americas: evidence from tree rings over the past four centuries. . Preprints “ 10th Symposium on Global Changes Studies” (eds) Am. Met. Soc. Dallas, Texas, 13-16.

Welsh, K., Elliot, M., Tudhope, A., Ayling, B., & Chappell, J. (2011). Giant bivalves (*Tridacna gigas*) as recorders of ENSO variability. *Earth and Planetary Science Letters*, 307(3), 266-270.