

Dinámica del clima y la vegetación de los últimos 6700 años en el sector Mistrató (cordillera Occidental, Colombia)*


Alba Lucía Acevedo H.¹, César Augusto Velásquez R.², Andrés Pardo-Trujillo.³, María Isabel Vélez C.⁴, Felipe Vallejo H.⁵, Daniel Jaramillo L.⁶, Raúl Andrés Trejos T.⁷

Resumen


Objetivo. Se presenta un estudio de la dinámica del clima y la vegetación del humedal Medellincito (5° 19' 022"N y 75° 54' 515"W), localizado en el flanco occidental de la cordillera Occidental de Colombia a 2020 msnm. **Alcance.** El predominio del bosque Andino durante todo el registro indica que este creció en los alrededores inmediatos bajo condiciones casi permanentes de humedad. Sin embargo, eventos de menor precipitación se registraron alrededor de 6700, 5900, 5100, 4500, 4100-4300, 3200-1300, 1000-750 cal años AP, durante los cuales crecieron especies de vegetación abierta conformadas por Poaceae, Asteraceae, Ericaceae y Cyperaceae. La alta humedad del sitio puede deberse a la influencia constante de la corriente de chorro del Pacífico colombiano y de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Aunque no hay evidencias directas de la acción del fenómeno El Niño de alto impacto en el occidente de Colombia, si puede especularse que los eventos más secos puedan tener alguna relación con este fenómeno. **Resultados.** Los registros de polen, esporas y diatomeas de los últimos ~6700 años cal AP muestran que la vegetación del bosque Andino estuvo dominada por Cyatheaceae, *Hedyosmum* (Chloranthaceae), Solanaceae, *Viburnum*, *Miconia*, *Weinmannia* y *Myrsine*, y el bosque Subandino por Fabaceae, *Alchornea* (Euphorbiaceae) y Bignoniaceae. **Conclusiones.** En los últimos ~150 cal años AP, el paisaje se ha modificado significativamente pasando de ser un bosque muy húmedo a bosque húmedo, reflejado en el drástico decrecimiento de *Hedyosmum*, Solanaceae y Cyatheaceae, y un incremento en la vegetación abierta, principalmente Poaceae junto a Cyperaceae en ambientes de pantano, debido a intervención antrópica (extracción selectiva de especies maderables y ganadería extensiva). Es posible que efectos negativos de advección de humedad por la corriente de Chorro hayan afectado la precipitación horizontal y con ello la disminución del bosque de niebla, característico de ecosistemas montanos bajos.

Palabras clave: palinología, Holoceno, cambio climático, dinámica de la vegetación, bosque de niebla Mistrató-Risaralda, cordillera Occidental, chorro del Chocó, Andes tropicales.


* FR: 12-IX-2019. FA: 21-XI-2019.


¹ Universidad de Caldas - Manizales, albaluciaacevedoherandez@yahoo.es Departamento de Ciencias Geológicas. Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES.  0000-0002-3468-0740


² Universidad Nacional de Colombia – Medellín, cavelasq@unal.edu.co Facultad de Ciencias.

³ Universidad de Caldas - Manizales, andres.pardo@ucaldas.edu.co Departamento de Ciencias Geológicas. Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES.  0000-0001-9678-6818

⁴ University of Regina – Canadá, María.Velez.Caicedo@uregina.ca Department of Geology 

⁵ Universidad de Caldas - Manizales. Departamento de Ciencias Geológicas. Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES. diego.vallejo@ucaldas.edu.co  0000-0002-0743-0906

⁶ Universidad de Caldas - Departamento de Ciencias Geológicas. Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES. Manizales, danieljlo@hotmail.com  0000-001-9406-1119

⁷ Universidad de Caldas - Manizales, Departamento de Ciencias Geológicas. Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES. raulandrest@gmail.com  0000-0003-1093-8493



CÓMO CITAR:

ACEVEDO H., A.L., VELÁSQUEZ R, C.A., et al., 2020.- Dinámica del clima y la vegetación de los últimos 6700 años en el sector Mistrató (cordillera Occidental, Colombia). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 24 (1): 00-00. DOI: 10.17151/bccm.2020.24.1.3

Climate and vegetation dynamics of the last 6700 years in the Mistrató sector (western cordillera, Colombia)

Objective. Our research is focused on climate and vegetation dynamic recorded by the Medellín wetland (5° 19 '022 "N and 75°54' 515" W), located on the western flank of the Western cordillera of Colombia at 2020 masl. **Scope.** A predominance of the Andean forest along the entire core suggests that the wetland was established under almost permanent humidity conditions. Nevertheless, low precipitation events are also recorded around 6700, 5900, 5100, 4500, 4100-4,300, 3200-1300, and 1000-750 cal years AP, when open vegetation such as Poaceae, Asteraceae, Ericaceae and Cyperaceae occurred. The high humidity conditions interpreted for the studied site may be indicating the constant influence of the Pacific jet stream and the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). Although there is no direct evidence of El Niño activity, which has a high impact on the western Colombia, we speculate that drier events identified in the Medellín wetland may be related to this phenomenon. **Results.** The pollen, spore, and diatom records reveal that during the last ~ 6700 years Cal AP, the Andean forest vegetation was dominated by Cyatheaceae, *Hedyosmum* (Chloranthaceae), Solanaceae, *Viburnum*, *Miconia*, *Weinmannia* and *Myrsine*, and the Subandean forest by Fabaceae, *Alchornea* (Euphorbiaceae) and Bignoniaceae. **Conclusions.** In the last ~ 150 years cal BP, the landscape has significantly changed from a very humid to a humid forest. This is evidenced by the drastic decrease of *Hedyosmum*, Cyatheaceae, and Solanaceae, and the increase of open vegetation, mainly Poaceae and Cyperaceae in swamp environments, due to anthropic intervention (selective extraction of timber species and extensive livestock). It is possible that negative effects of humidity advection by the Jet stream, have affected the precipitation and, consequently, decreased the cloud forest characteristic of low montane ecosystems.

Key words: palynology, Holocene, climate change, vegetation dynamics, Mistrató-Risaralda cloud forest, Western cordillera, Chocó Jet stream, tropical Andes.

INTRODUCCIÓN

Los últimos 6000 años son particularmente importantes para entender el sistema climático del planeta, ya que durante este periodo se han producido rápidos cambios en el clima en comparación con los largos períodos glacial–interglacial (Wanner et al., 2008). Algunos de estos cambios como el Óptimo Climático Medieval, la Pequeña Edad de Hielo o el Calentamiento Reciente están mejor documentados en el Hemisferio Norte que en el Sur y, en el trópico, no son muy claros en la mayoría de los registros existentes. Los estudios paleoecológicos y paleoclimáticos que utilizan diferentes técnicas permiten una mejor comprensión de estos eventos. Una valiosa herramienta empleada en estudios neotropicales, es el estudio de los granos de polen acumulados en sedimentos que permiten entender la composición de la vegetación del pasado e inferir condiciones paleoclimáticas (Velásquez, 2005).

Son muchas las investigaciones palinológicas que se han realizado en la región andina colombiana, especialmente en la cordillera Oriental (Groot et al., 2011; Marchant et al., 2004c), abarcando periodos tan extensos como 3.5 millones de años (Hooghiemstra, 1984). Dentro de ellos se encuentran los trabajos de Velásquez (2005); Bogotá, (2011); Groot et al., (2011); González-Carranza, Hooghiemstra & Vélez (2012); Muñoz et al. (2017), entre otros. La cordillera Occidental de Colombia es de gran interés por su proximidad al océano Pacífico y por la influencia que recibe del Atlántico. Además, allí el clima está afectado por fenómenos climáticos como zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), El Niño y la Corriente de Chorro del occidente colombiano (Chocó). Además esta cordillera ha sido la menos estudiada en Colombia, desde el punto de vista paleoecológico. La corriente de Chorro del Chocó, perpendicular a la cordillera, asciende por efecto orográfico e interactúa con los vientos alisios del este que soplan desde el Mar Caribe o desde la cuenca del Amazonas, originando alta divergencia de vientos en la parte superior de la atmósfera sobre la región y una convección profunda responsable de la gran cantidad de precipitación sobre la costa Pacífica Colombiana (Poveda & Mesa, 1999). Esta corriente se manifiesta notablemente en el estrecho topográfico existente entre 5°N y 5°30'N, conocido como el Paso de Mistrató (Alzate et al., 2004). Además de la fuerte precipitación, esta corriente es responsable de fuertes procesos erosivos sobre la cordillera Occidental de los Andes colombianos (Alzate et al., 2004).

La ZCIT y el fenómeno El Niño afectan permanentemente la zona de estudio; el primero porque se presentan dos temporadas lluviosas (abril-mayo y octubre-noviembre), y dos temporadas secas (diciembre-febrero y junio-agosto) sobre el centro de Colombia como resultado del doble paso de la ZCIT sobre el territorio (Poveda, 2004). Su oscilación no es simétrica alrededor del Ecuador terrestre, ya que su posición media se encuentra desplazada alrededor de 5°-10°N (Philander et al., 1996). La ZCIT constituye el lugar preferente para la convergencia superficial de los vientos alisios, y es una región de bajas presiones atmosféricas superficiales, ascenso de vientos húmedos, desarrollo de mecanismos de convección profunda, alta nubosidad y divergencia en la alta atmósfera (Poveda, 2004). El segundo, por presentarse más fuerte e inmediato para las zonas localizadas en el occidente colombiano en comparación con las localizadas al este del país donde son más débiles y retardadas; de tal manera que la fase cálida tiene un efecto de disminución de la precipitación y la escorrentía sobre la mayor parte del territorio nacional, es así como en la parte norte de la costa del Pacífico disminuyen las lluvias, mientras que hacia la parte sur aumentan (Rueda & Poveda, 2006); este descenso de la precipitación también disminuye la humedad del suelo y la actividad vegetal (Poveda & Jaramillo, 2000; Poveda, Ramírez y Jaramillo, 2001). Las contribuciones paleoecológicas y paleoclimáticas en localidades de la cordillera Occidental son relativamente escasas (Rangel-CH et al., 2005). El sector más estudiado es el páramo de Frontino al norte de Mistrató, donde se determinaron cambios en el clima, vegetación y ambientes sedimentarios durante el Tardiglacial y el Holoceno

(Velásquez, 2005; Muñoz, 2013; Parra, Rangel & Van der Hammen, 2006; Marchant et al., 2004b) . En el macizo Tatamá se realizaron estudios palinológicos de media a baja resolución que abarcaron todo el Holoceno (Velásquez, 1999; Rangel-CH et al., 2005). De igual manera, se estudió la Laguna Jotaordó en el Pacífico colombiano, un registro que abarca los últimos 4200 años (Berrío et al., 2000). Otros estudios incluyen el Macizo Colombiano y Volcán del Puracé donde se reconstruyó la vegetación y el clima de los últimos 10000 años (Espejo & Rangel, 1989). Con el fin de complementar los estudios mencionados, se realizó una reconstrucción de la vegetación y el clima del humedal Medellincito durante los últimos 6700 años, utilizando el estudio de polen y esporas, dataciones de ^{14}C , y diatomeas. El estudio es pionero para esta región y será un punto más de referencia para entender la dinámica del clima y la vegetación en el norte de los Andes.

El humedal Medellincito se localiza en la línea divisoria de la cordillera Occidental colombiana en la vereda Aribató, distrito de manejo integrado Cuchilla del San Juan, jurisdicción del municipio de Mistrató (departamento de Risaralda), a una altura de 2020 msnm y coordenadas $5^{\circ}19'N$ y $75^{\circ}54'W$ (figura 1). El humedal se encuentra dentro del bosque muy húmedo montano bajo (2000-2350 m.s.n.m) con una temperatura de 14°C - 18°C , un promedio anual de lluvias entre 2000-4000 mm y una provincia perhúmeda (Gómez, 2009). El orobioma Andino de este sector tiene una temperatura media de $18,7^{\circ}\text{C}$ y precipitación media anual de 2586 mm (Sirap Eje Cafetero & Wildlife Conservation Society, 2013). Los sectores más lluviosos son las partes occidentales de Mistrató y Pueblo Rico con 3935 mm, influenciados por corrientes del Pacífico (Sirap Eje Cafetero & Wildlife Conservation Society, 2013). La precipitación pluvial es alta en todo el año y los periodos secos son muy cortos; es frecuente la ocurrencia de neblina en las mañanas y en las horas de la tarde, durante casi todos los días del año, lo cual contribuye a aumentar la humedad del medio ambiente (Ruíz, 2005).

El humedal es alimentado por pequeños arroyos y aguas de escorrentía que, al parecer, se infiltran en el suelo. El sector estudiado cuenta con una cobertura forestal natural de cerca del 80 %, con procesos puntuales de fragmentación y constituye un corredor biológico natural entre dos de las más importantes áreas montañosas y reservas biológicas de la cordillera Occidental: Macizo de Tatamá y Cerro de Caramanta (Ballesteros et al., 2005). El uso que se le ha dado al suelo en el humedal es el de ganadería extensiva, por lo menos en los últimos 100 años, pero su zona de amortiguación desde hace varios años viene siendo sometida a extracción selectiva de árboles maderables; sin embargo, desde hace unos 10 años se ha venido restringiendo, por lo menos la extracción de madera. La vegetación moderna del humedal está constituida primordialmente de Cyperaceae (vegetación de pantano), Poaceae (vegetación abierta), Cyatheaceae (bosque andino) y pteridofitas; según el registro de polen en el techo del núcleo y observaciones de campo.

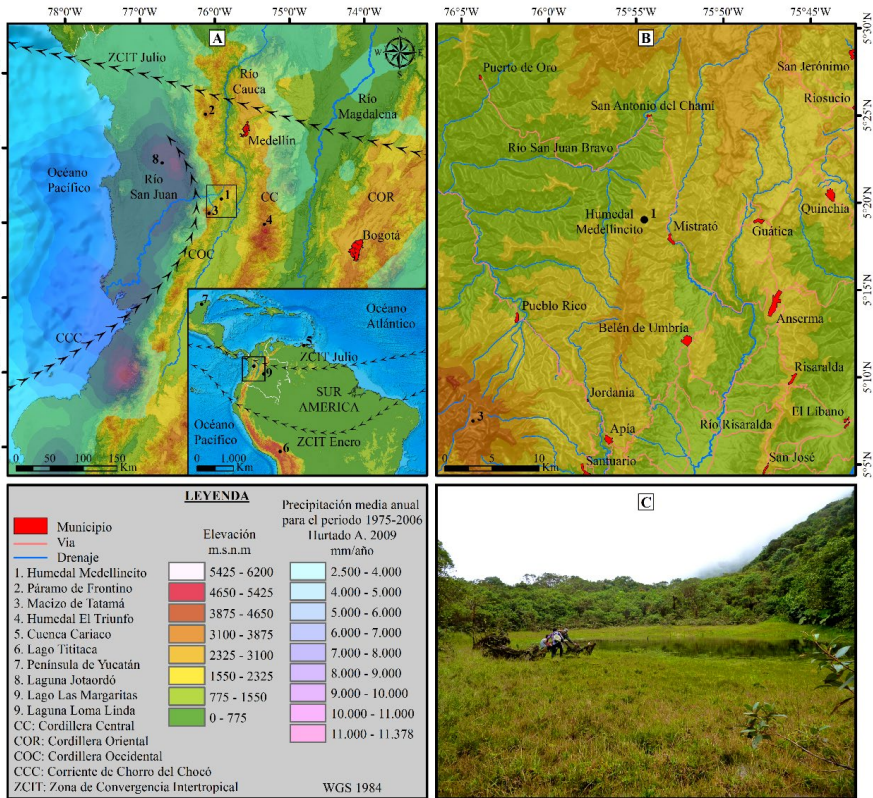


Figura 1. Mapa de ubicación del humedal Medellincito: A. Mapa de Sur América y Colombia en el cual se indica la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y la corriente de Chorro del Chocó con respecto a la localización del humedal Medellincito en la cordillera Occidental de los Andes Colombianos, el modelo de elevación en metros sobre el nivel del mar y la precipitación media anual en mm/año del periodo comprendido entre 1975 - 2006 utilizado por Hurtado (2009). B. Ubicación del humedal Medellincito en el estrecho topográfico conocido como Paso Mistrató entre 5° y 5°30'N y su localización entre las cuencas de los ríos San Juan y Risaralda. C. Aspecto actual del humedal Medellincito.

METODOLOGÍA

En el humedal se extrajo un núcleo de sedimento de 300 cm de profundidad, con una sonda Rusa de cinco centímetros de diámetro y 50 cm de avance. A su vez, de este se extrajo una muestra de sedimento de 1cm³ cada 5 cm (61 muestras). Se obtuvieron ocho muestras para análisis de radiocarbono AMS, en los centímetros 20, 50, 80, 110, 165, 215, 260 y 300, que incluyen sedimento orgánico o fragmentos de madera (tabla 2). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Radiochronologie–Radiochronology (University of California, USA) y la Université Laval (Canadá). La muestra de la base (300cm) fue analizada por Beta Analytic (USA). Los núcleos fueron almacenados en

canaletas de PVC rotuladas y protegidas con plástico y papel de aluminio. Estas se almacenaron en un cuarto frío a una temperatura de 4°C en el Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES de la Universidad de Caldas. En la descripción litológica y estratigráfica se tuvieron en cuenta características como textura, color, fragmentos vegetales y humedad (Figura 2).

El tratamiento fisicoquímico de las muestras fue realizado inicialmente con KOH [5%] para disolver algunos compuestos orgánicos y eliminar los coloides de los suelos orgánicos insaturados. Cada muestra fue sometida a filtración con tamices entre 150 y 10 μm ; 150 μm (> 150 μm no diagnósticas) y 10 μm para eliminar limos y arcillas presentes. El filtrado (entre 150 μm y 10 μm) se recogió en un tubo de ensayo y se centrifugó durante 5 minutos a 3500 r.p.m. y se decantó el sobrenadante. Se hizo un pre-tratamiento con HF [70%] por 1 hora y HCl [37%] y se realizó luego una acetólisis utilizando la metodología de Erdtman (1960). Para las muestras 2 – 50 cm y 55-300cm se hizo un tratamiento similar a las primeras muestras, pero con KOH [10 %] y sin acetólisis, ya que por la gran cantidad de materia orgánica y después de varios ensayos, se optó por no realizarla con el fin de obtener un mejor recobro del material polínico. El polen, las esporas y demás residuos sedimentarios fueron montados en placas permanentes utilizando bálsamo de Canadá como sellante. Las placas fueron almacenadas en la Palinoteca del IIES.

El conteo de polen y esporas de pteridofitos fue de 500 granos, los cuales permiten observar aproximadamente el 65 % de la diversidad polínica del humedal. Los palinomorfos fueron identificados utilizando atlas palinológicos como los de Hooghiemstra (1984); Velásquez (1999); Colinvaux, De Oliveira & Moreno (1999); Murillo & Bless (1974); Roubik & Moreno (1991) y la colección de referencia de la palinoteca del laboratorio de paleoecología de la Universidad Nacional (Medellín, Colombia). Con el software TILIA & TILIAGRAPH se elaboraron los diagramas polínicos y se organizaron los grupos ecológicos; con Coniss (Grimm, 1987) se hizo el análisis de clúster de los espectros de polen. Los diagramas se elaboraron haciendo la diferenciación de tres grupos de vegetación: 1) Bosque Subandino-BS, 2) Bosque Andino-BA y 3) vegetación Abierta-VA, correspondientes a la vegetación regional. La vegetación de pantano se separó como parte de la vegetación local.

Se tuvo en cuenta dos cinturones de vegetación: el BS y el BA (o bosque Montano Superior); además de la VA que crece en el humedal mismo o alrededores inmediatos y, con los resultados obtenidos, se hicieron inferencias de temperatura y humedad. Los elementos considerados para cada grupo de vegetación fueron tomados teniendo en cuenta el orobioma al cual pertenece el humedal según la clasificación de ecosistemas terrestres del Eje Cafetero (Sirap Eje Cafetero & Wildlife Conservation Society, 2013) y la distribución vertical de la vegetación realizada para la cordillera Occidental por Velásquez, (2005) y Rangel-CH et al. (2005) (tabla 1).

Tabla 1. Taxones de los diagramas polínicos de la vegetación regional (Bosque Subandino, Bosque Andino) y la vegetación local (se exceptúa pteridofitos y plantas de pantano).

Taxones considerados principalmente en la suma de polen	
Vegetación regional	Bosque Subandino: <i>Alchornea</i> , Fabaceae, Bignoniaceae y tipo <i>Prestoea</i> .
	Bosque Andino: Cyatheaceae, <i>Hedyosmum</i> y Solanaceae.
	Vegetación Abierta: Poaceae, Asteraceae, Ericaceae, Lycopodiaceae, <i>Arenaria</i> .
Otros taxones presentes en el diagrama polínico con un menor número o menor frecuencia en la suma de polen:	
Vegetación regional	Bosque Subandino: <i>Desmodium</i> , <i>Heliocarpus</i> , Urticaceae, <i>Panopsis</i> , <i>Erythrina</i> , <i>Cordia</i> , <i>Bromelia</i> , <i>Protium</i> , <i>Anthurium</i> , Clusiaceae, Rubiaceae, Bromeliaceae, Arecaceae, Tipo <i>Pouteria</i> , Malphigiaceae, <i>Acalypha</i>
	Bosque Andino: <i>Viburnum</i> , <i>Ilex</i> , <i>Miconia</i> , <i>Weinmannia</i> , <i>Sapium</i> , <i>Croton</i> , <i>Symplocos</i> , Araliaceae, <i>Vallea</i> , <i>Clethra</i> , Myrtaceae, Coriaceae, <i>Juglans</i> , <i>Columnea</i> , <i>Monnina</i> , Melastomataceae, <i>Podocarpus</i> , <i>Spondias</i> , Balsaminaceae, <i>Quercus</i> .
	Vegetación Abierta: <i>Valeriana</i> , Tipo <i>Puya</i>

Tabla 2. Edades AMS radiocarbono de las muestras obtenidas del humedal Medellincito. Se muestra la edad convencional y la calibrada, así como el tipo de material datado y profundidad del núcleo.

Código de Laboratorio	Profundidad (cm)	Tipo de Muestra	Edad Radiocarbono Convencional	Edad Estimada (años Cal AP)
UCIAMS-193804 ULA-7151	20	Sedimento	100+/-20	208
UCIAMS-193805 ULA-7152	50	Sedimento	1380 +/-15	1259
UCIAMS-193806 ULA-7153	80	Sedimento	3705 +/-20	3937
UCIAMS-177050 ULA-6235	110	Madera	3825 +/- 15	4261
UCIAMS-177051 ULA-6236	165	Madera	4025 +/-15	4781
UCIAMS-177052 ULA-6237	215	Madera	5075 +/- 15	5822
UCIAMS-177049 ULA-6234	260	Madera	5250 +/- 15	6200
Beta-330146	300	Sedimento orgánico	5850 +/- 25	6723

El diagrama polínico de la vegetación regional se elaboró con base en los porcentajes de taxones cuya abundancia relativa fue mayor o igual al 5 % del total del conteo; los diagramas de vegetación de pantano y comportamiento de Poaceae vs vegetación de pantano se hicieron con base en los porcentajes de la totalidad de los elementos contados. Algunos elementos potencialmente indicadores de humedad y temperatura fueron utilizados para hacer inferencias al respecto. Para la temperatura se tomaron como indicadores los elementos del bosque, especialmente los taxones del BS (*Alchornea*,

Fabaceae y Bignoniaceae principalmente), mayores temperaturas corresponderían a mayores proporciones polínicas, sin poder excluir las influencias de la variación en la producción de polen local, o el cambio de medio de depositación (Rangel-CH et al., 2005). Los taxones del BA, tales como *Cyatheaceae* y *Hedyosmum* sugieren condiciones húmedas puesto que son considerados como taxones higrófilos (Hooghiemstra, 1984; Velásquez & Hooghiemstra, 2013). La ínfima presencia de *Quercus* a lo largo de todo el registro sugiere que en el humedal han prevalecido condiciones muy húmedas ya que este taxón se encuentra en regiones más secas, tales como las del sector oriental de la cordillera Occidental (Rangel et al., 2005). Las algas también constituyeron un elemento importante en el análisis de los datos para inferir condiciones húmedas, especialmente cuando no se tuvo presencia de vegetación de pantano. Además se incluyó alguna información de diatomeas recuperadas en muestras tomadas a intervalos de 10 cm en el núcleo. El diagrama polínico fue dividido en zonas, con base en la variación de tipos y proporciones de polen y esporas y se interpretaron las posibles condiciones ambientales (Velásquez, 2005). Estas zonas se establecieron utilizando análisis de clúster CONISS a través del programa TILIA 2.0.2 (Grimm, 1987). En la descripción de los taxones de polen se indican entre paréntesis los porcentajes máximos alcanzado

El análisis de radiocarbono fue realizado por el laboratorio de radiocronología Université Laval, mediante espectrometría de masas con acelerador (AMS). Para el modelo de edad se utilizó el programa BACON – versión 2.2 (Blaauw & Christeny, 2011) y para la edad calculada R-versión 3.1.0 (Ihaca & Gentleman, 1996). La interpretación de los datos se hace con la edad calculada en años antes del presente (AP) a partir de la edad radiocarbono convencional. El modelo de edad fue realizado con Bacon– v2.2. (Blaauw & Christeny, 2011) (Tabla 2) y las edades estimadas se presentan como años antes del presente (figura 3).

RESULTADOS

El núcleo extraído de 3 metros de longitud muestra un material no consolidado de arcilla limosa con variaciones en el color y la textura. Los colores oscuros a marrones claro son los más comunes. Se observaron en buena parte del núcleo abundantes fragmentos de madera y raíces. El cambio más notable de color se presentó alrededor de 55-60 cm, también se presenta en este sector la tasa de sedimentación más baja (figura 2). Las edades radiocarbono obtenido se relaciona en la tabla 2. Dado que la tasa media de acumulación está cerca de 22.4 años/cm y las muestras fueron colectadas cada 5cm (o cada 110 años), la resolución del análisis es a escala de centuria (tabla 2). En los diagramas polínicos se pueden identificar cuatro zonas (figura 4, 5 y 6), las cuales se describen a continuación.

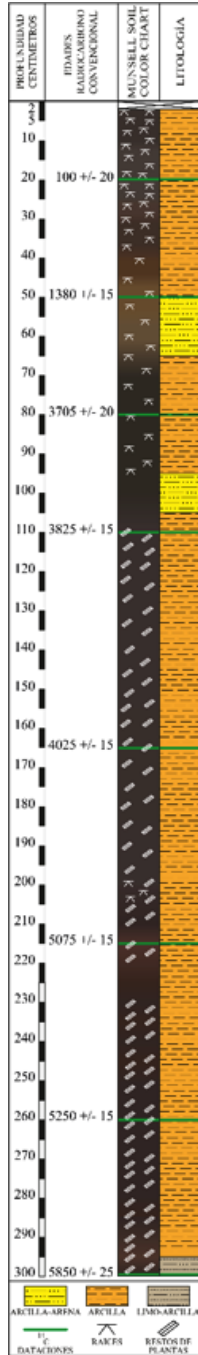


Figura 2.

Columna estratigráfica del núcleo recuperado en el humedal Medellincito. A la izquierda, columna con los colores según Munsell (2005), presencia de material vegetal, la profundidad (cm) y la edad radiocarbono convencional. A la derecha, columna con la litología.

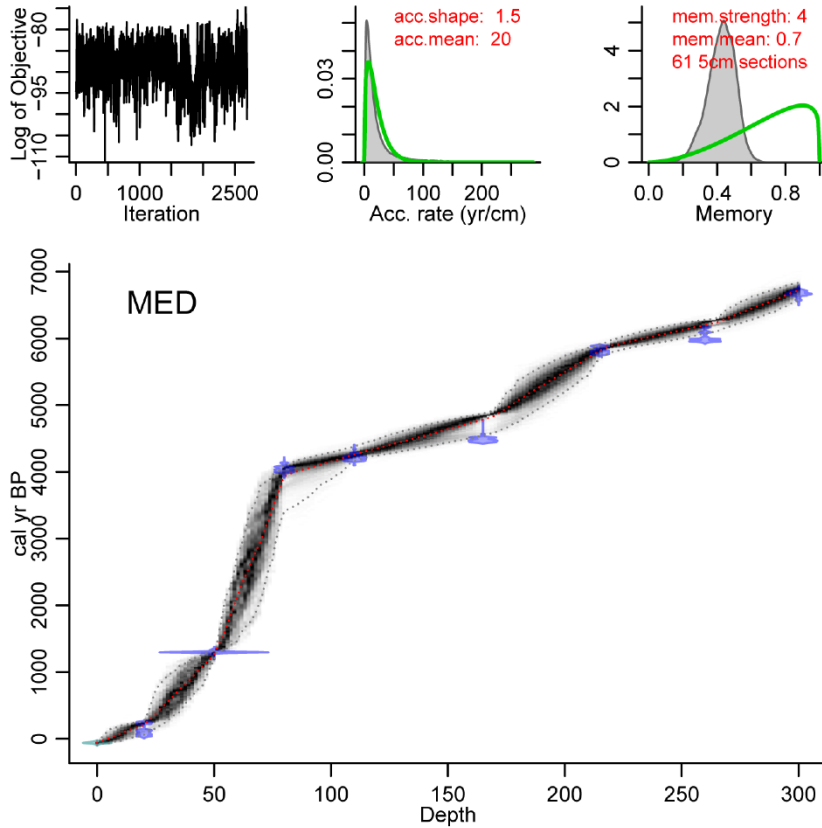


Figura 3. Modelo de edad del núcleo del humedal Medallito realizado en Bacon – v2.2. (Blaauw & Christeny, 2011). El panel superior izquierdo representa las interacciones MCMC (Markov chain Monte Carlo simulations), en el panel central se encuentra la distribución de la tasa de acumulación representada por la curva verde y el histograma gris y en el panel derecho la memoria que define la cantidad de tasa de acumulación de una profundidad determinada en un núcleo. El panel inferior muestra las fechas calibradas ^{14}C (azul), y el modelo de edad vs. profundidad (grises más oscuros que indican edades calendario más probables; las líneas punteadas grises muestran intervalos de confianza del 95 %, la curva roja punteada muestra el “mejor” modelo en base a la edad media ponderada para cada profundidad).

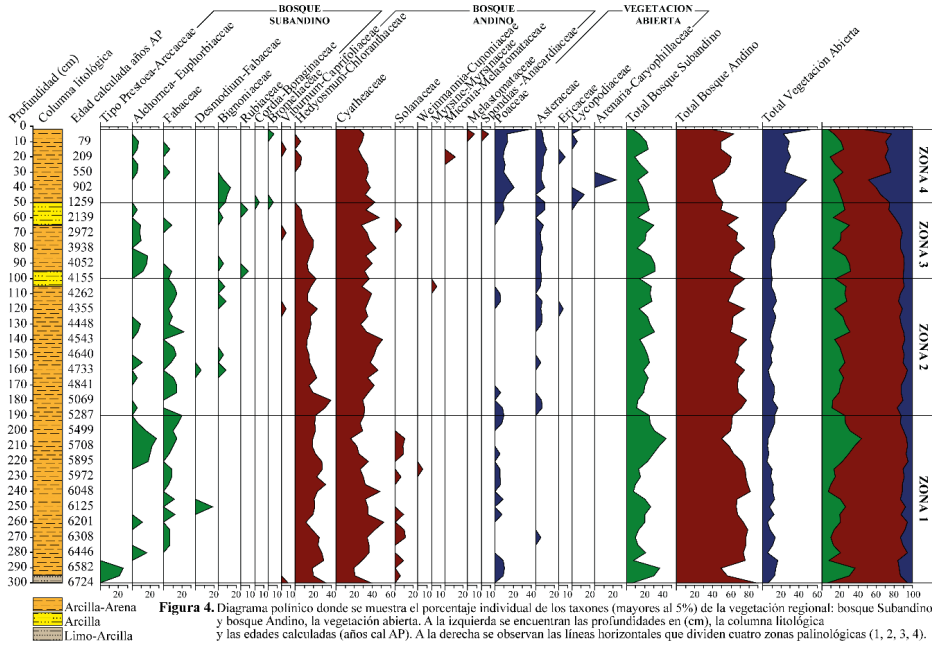


Figura 4. Diagrama polínico donde se muestra el porcentaje individual de los taxones (mayores al 5%) de la vegetación regional: bosque Subandino (verde) y bosque Andino (marrón), la vegetación abierta (azul). A la izquierda se encuentran las profundidades en (cm), la columna litológica y las edades calculadas (años cal AP). A la derecha se observan las líneas horizontales que dividen cuatro zonas palinológicas (1, 2, 3, 4).

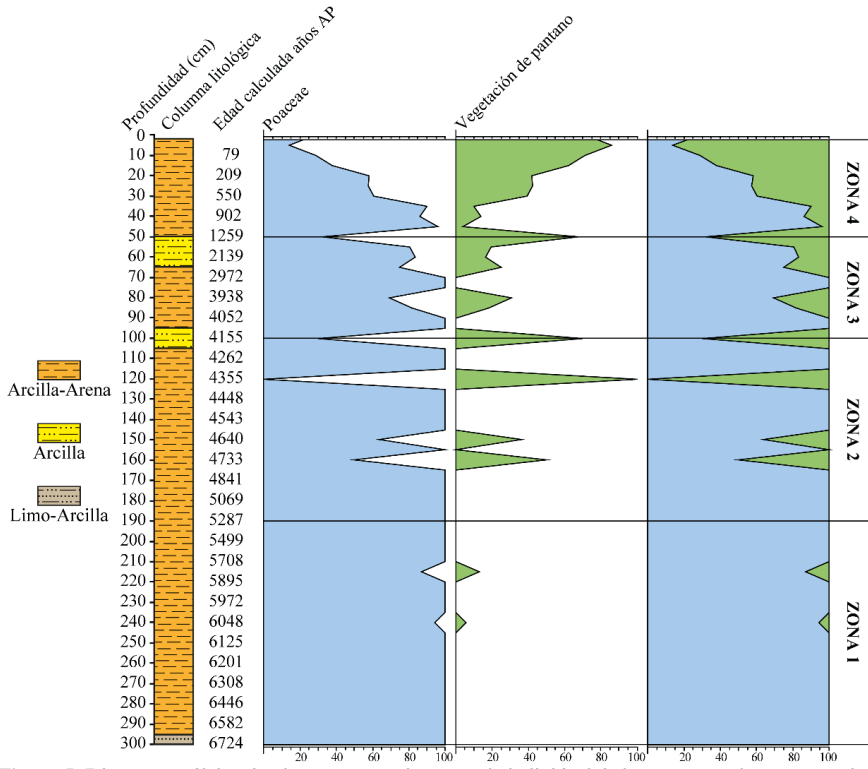


Figura 5. Diagrama polínico donde se muestra el porcentaje individual de los taxones más representativos de la vegetación de pantano (*Cyperaceae*, *Apiaceae*, *Ranunculus*) vs. *Poaceae* (vegetación abierta). A la izquierda se encuentran las profundidades en (cm), la columna litológica y las edades calculadas (años cal AP). A la derecha se observan las líneas horizontales que dividen cuatro zonas palinológicas (1, 2, 3, 4).

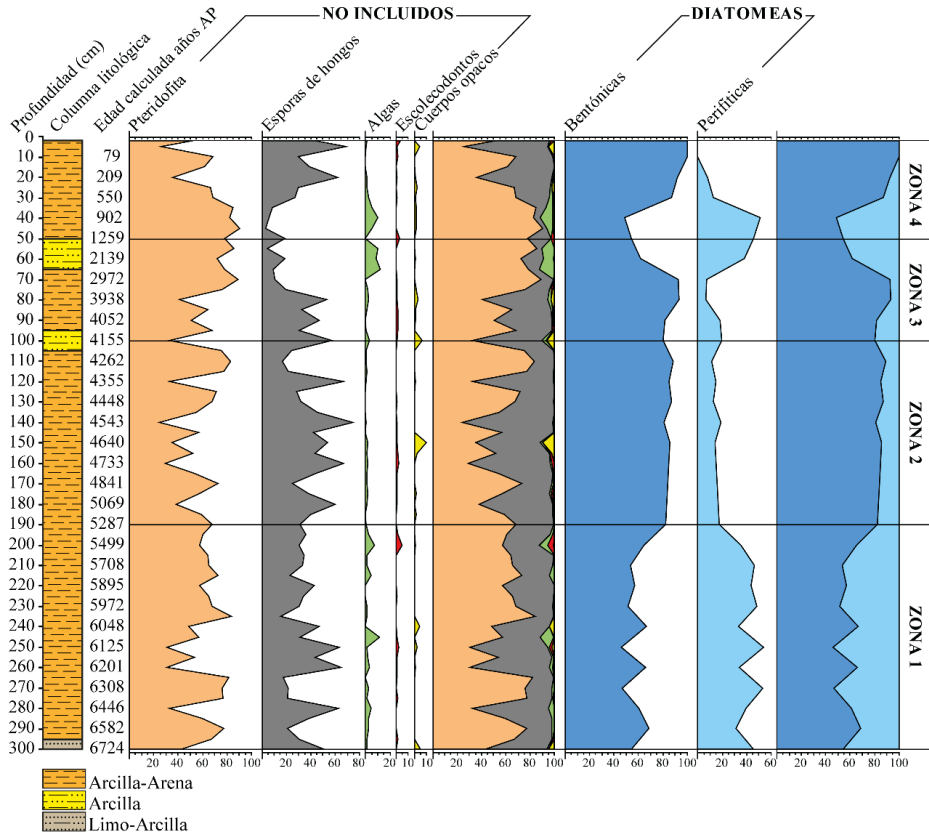


Figura 6.

Grupos de palinormorfos no incluidos en la suma de polen. A la izquierda se encuentran las profundidades en (cm), la columna litológica y las edades calculadas (años cal AP). A la derecha se observan las líneas horizontales que dividen cuatro zonas palinológicas (1, 2, 3, 4) y la presencia de diatomeas bentónicas y perifíticas.

Zona 1 (300-190 cm, 23 muestras): para esta zona la vegetación regional se encuentra representada principalmente por el BA (69 %) seguida de BS (21 %) y en menor medida por la VA (10 %). En el BS el taxón dominante fue *Alchornea* (27 %), le siguen los tipos *Prestoea*–Arecaceae (25,7 %) que muestra su mayor expresión en la parte inferior de la zona y Fabaceae (20,2 %). Otros taxones con valores muy bajos fueron *Desmodium*, Bignoniaceae, Clusiaceae, *Heliocarpus*, *Protium*, *Bromelia*, *Erythrina*, *Anthurium*, *Panopsis*, *Cordia*, Rubiaceae, Urticaceae y Tipo *Pouteria*. En el BA la representación más alta fue para Cyatheaceae (52,5 %) y *Hedyosmum* (34,1 %) seguidos de Solanaceae (11,5 %). Con valores muy bajos se registraron *Viburnum*, *Weinmannia*, *Ilex*, Myrtaceae, *Myrsine*, Araliaceae, Coriaceae, *Miconia*, *Alnus*, *Symplocos*, *Sapium*, *Monnina*, *Croton*, *Clethra*, *Vallea*, *Spondias* y Balsaminaceae. El taxón que representa mejor la VA fue Poaceae (5,2 %) seguido de Asteraceae (3,1 %) y Ericaceae (2 %). Con respecto a los elementos no incluidos en la suma de polen, hay un bajo registro de los taxones de *Ranunculus* y Apiaceae y ausencia de Cyperaceae. Son importantes diferentes formas de pteridofitas (75 %) y esporas de hongos (60 %) y hay poca representación de algas. Los escolecodontos y partículas opacas se presentan en muy bajas proporciones y de forma intermitente, no solo en esta zona sino a lo largo de todo el diagrama, dificultando así cualquier interpretación.

Zona 2 (185-100 cm, 18 muestras): en general el BA (67,8 %) continuó predominando sobre el BS (21 %) y la VA (11,18 %). Aunque se observan unas oscilaciones periódicas, estas fueron menos intensas que en la zona anterior. Los taxones más representativos para el BS fueron Fabaceae (22 %), *Alchornea* (11,4 %) y Bignoniaceae (8,6 %). Los demás taxones fueron poco representativos. Los del BA más sobresalientes fueron Cyatheaceae (51,4 %) y *Hedyosmum* (39,4 %). Aunque siempre están presentes, parece haber un comportamiento antagónico entre ambos en muchos puntos del registro. Solanaceae disminuyó sensiblemente respecto a la zona anterior y los demás taxones mantuvieron registros bajos (*Myrsine*, *Viburnum*, *Ilex*, *Croton*, Balsaminaceae, *Sapium*, *Alnus*, *Weinmannia*, Araliaceae, *Miconia*, Myrtaceae, *Clethra*, *Monnina*, *Spondias*, *Quercus* y *Columnea*). En la VA Asteraceae (8,1 %) fue dominante seguida por Poaceae (7,2 %) y Ericaceae (5,4 %). Lycopodiaceae y *Valeriana* tuvieron una representación cercana a 2-3 %. Se aprecia un incremento de Asteraceae y Ericaceae y una reducción de Poaceae con respecto a la zona anterior. Entre la hidrófitas hay un pico de Apiaceae en 160cm y dos de Cyperaceae en 150cm y 100cm. Pteridofita y hongos permanecen con representación alta aunque hay tendencia de aumento de los últimos y disminución de Pteridofitos. Los demás elementos no incluidos siguen con valores muy bajos, se resalta un pico de opacos en el centímetro 150.

Zona 3 (95-55 cm, 9 muestras): la vegetación regional continúa representada en su mayoría por el BA (62,74 %), seguido de BS (23,37 %) y en menor medida por la VA (13,86 %); esto a pesar de que al final de la zona el BA disminuyó sensiblemente a expensas del incremento de VA. En el BS el taxón más representativo fue *Alchornea*

(16,9 %), seguido de Bignoniaceae (10 %), Fabaceae (8,9 %) y Rubiaceae (8,3 %). Otros taxones como Urticaceae, *Desmodium*, *Cordia*, *Panopsis* y *Heliocarpus* tuvieron representaciones muy bajas. En el BA siguen dominando Cyatheaceae (47,7 %) y *Hedyosmum* (19,9 %) y se incrementaron ligeramente *Viburnum* (5,1 %) e *Ilex* (4,7 %). *Hedyosmum* tuvo una fuerte disminución al final de la zona. Los demás taxones tuvieron representación inferior al 2 %. La VA se incrementa especialmente al final y continúa dominando Asteraceae (9,9 %) y Poaceae (9,9 %), seguido por Ericaceae (3,8 %) y Lycopodiaceae. *Arenaria* y tipo *Puya* también están presentes aunque con baja representación. Entre las hidrófitas, Cyperaceae sigue incrementando y se presentan también Apiaceae y *Ranunculus*. Otros elementos no incluidos sobresalientes fueron Pteridofita, algas y hongos. Los dos primeros aumentaron sensiblemente al final y los hongos disminuyeron de forma antagónica.

Zona 4 (50-02 cm, 11 muestras): la vegetación regional siguió representada en su mayoría por el BA (49,95 %), seguido de la VA (32,9 %) y del BS (17,13 %). El taxón más representativo en el BS fue Bignoniaceae (13,6 %), seguido de *Alchornea* (7,6 %) y Fabaceae (6,8 %). Los demás tuvieron muy baja representación. El BA continúa dominado por Cyatheaceae (42,8 %), pero *Hedyosmum* sigue sin registro al comienzo de la zona. Después que reaparece, se mantiene con registros bajos hasta hoy (6,1 %). En la segunda mitad de esta zona se detecta un aumento escalonado de varios taxones como *Viburnum*, *Miconia*, *Weinmannia*, *Spondias* y Melastomataceae; simultáneo con la disminución de Cyatheaceae y *Hedyosmum*. Otros taxones con representación inferior al 2 %; Myrtaceae, *Vallea*, *Alnus*, *Juglans*, Balsaminaceae, *Quercus*, *Moninna*, *Podocarpus* y Loranthaceae también se incrementaron respecto a la zona anterior, pero otros como *Ilex*, Araliaceae, *Myrsine*, *Symplocos*, Solanaceae disminuyeron. Con respecto a la VA, es en esta zona donde se presenta el aumento más significativo: desde la base Poaceae (37,6 %), Lycopodiaceae (13,1 %), Asteraceae (11,9 %) y Ericaceae (7,3 %) y desde 35-40cm de profundidad *Arenaria* (23,4 %), donde hace mayor presencia a lo largo del núcleo. También se presentan otros taxones en bajas proporciones como *Valeriana* y Tipo *Puya*. Entre la vegetación hidrófita, Cyperaceae se incrementa muy significativamente hacia el techo de la zona, seguido de Apiaceae y en menor escala por *Ranunculus*. Respecto a otros elementos no incluidos en la suma, Pteridofita y algas fueron abundantes en la base y decrecieron hacia el techo, contrario a lo mostrado por los hongos.

DISCUSIÓN

Los cambios en la composición florística del humedal de los últimos 6000 años reflejan condiciones climáticas, cambios en la humedad y temperatura en este sector de la cordillera Occidental. A continuación, se presentarán la reconstrucción ambiental y climática derivada del estudio.

Periodo 1 (~6724 a ~5287 cal años AP, 300-190 cm): la presencia permanente de gramíneas y helechos en el sitio y la ausencia de Cyperaceae, indica que durante ese periodo no existió un cuerpo de agua en el sitio. Sin embargo, la humedad fue importante y los suelos estuvieron saturados, como se evidencia por la presencia mayoritaria de diatomeas perifíticas, en comparación con las bentónicas. Estas condiciones de humedad fueron interrumpidas por dos pulsos más secos: uno a comienzo del registro en ~6700 cal años AP (295 cm), indicado por la disminución sensible de los taxones higrófilos Cyatheaceae y *Hedyosmum* y otro ~5900 cal años AP, cuando disminuyen drásticamente las diatomeas y las algas; aquí se inicia también un cambio en la litología (solo arcilla, sin fragmentos de restos de plantas o de raíces). Ambos eventos se manifestaron de forma similar en el Páramo de Frontino (Velásquez & Hooghiemstra, 2013; Muñoz, 2013).

Respecto de la temperatura, las condiciones fueron un poco frías, en razón de la ligera disminución del BS e incremento del BA, excepto en los pulsos secos mencionados cuando fue más cálido y el BS estuvo mejor representado. Condiciones similares se reportan para el páramo de Frontino en Velásquez & Hooghiemstra (2013); Muñoz et al. (2017) para el páramo de Frontino. El periodo termina con un pulso ligeramente frío y seco (~5200 cal años AP), sugerido por la disminución progresiva de BS e incremento del BA y de las gramíneas. En este momento se incrementan las diatomeas bentónicas y disminuyen las perifíticas. En el páramo de Frontino el registro de acuáticas y la geoquímica muestran un cambio similar.

Periodo 2 (~5287 a ~4155 cal años AP, 190 – 100 cm): La disminución en la representación de gramíneas y helechos y el aumento de Apiaceae y Cyperaceae, de forma intermitente sugiere que durante este periodo tampoco existió un cuerpo de agua, pero sí se presentaron pantanos esporádicos. La mayor humedad en este periodo respecto del anterior se evidencia por la significativa disminución de diatomeas perifíticas y el aumento de las bentónicas. Tres pulsos secos alrededor de 5100, 4500 y 4300 cal años AP, cuando disminuye *Hedyosmum* y aumentan las Poaceae, interfieren la humedad del periodo. La ausencia de diatomeas en el primer evento puede no ser indicadora de extrema sequía porque se registran elementos de pantano, algas y plantas de VA; sin embargo, la disminución en la precipitación es evidente porque la estratigrafía muestra un sedimento arcilloso, compacto y sin presencia aparente de raíces.

En cuanto a la temperatura, las condiciones fueron algo más frías que el periodo anterior, en razón de que el BS disminuyó ligeramente respecto al BA; sin embargo, al final se observa una tendencia a calentamiento, comportamiento similar a lo registrado en el páramo de Frontino (Velásquez & Hooghiemstra, 2013; Muñoz, 2017). Es muy notorio desde el comienzo de este periodo hasta el presente una casi periodicidad de 500 años en el registro total del BS y BA, similar a lo registrado para

el sector de Llano Grande en el páramo de Frontino para los últimos 4000 años (Velásquez, 2005), debido a variaciones en la radiación solar.

Periodo 3 (~4155 a ~1259 cal años AP, 100 – 50 cm): al igual que la zona anterior, la presencia continua de gramíneas y helechos en el sitio con la baja representación de taxones de pantano, indica que no hay un cuerpo de agua y que el lugar continúa con suelos saturados y charcas ocasionales. La primera mitad de este periodo fue húmeda, con altos valores de *Hedyosmum*, Cyatheaceae y diatomeas bentónicas; pero con un pulso seco alrededor 4100 cal años AP (95 cm) cuando disminuyó sensiblemente *Hedyosmum* y aumentaron un poco las diatomeas perifíticas. Condiciones muy secas se iniciaron alrededor de 3200 cal años AP (70cm) hasta el final del periodo, alrededor del año 1300 cal años AP tal como lo evidencia la fuerte disminución de *Hedyosmum*, el incremento de diatomeas perifíticas y el aumento de los principales taxones de la VA. Estas condiciones de sequía se reflejan también en el cambio en la litología que pasó de arcillosa a arcillo arenosa, color más claro, mayor compactación y baja presencia de raíces.

En cuanto a la temperatura, las condiciones fueron inicialmente similares al periodo anterior, pero alrededor del año 3000 cal años AP (70 cm), descendió bruscamente hasta el final del periodo (año 1300 cal años AP).

Periodo 4 (~1259 cal años AP a la actualidad, 50 – 2 cm): este periodo tiene dos fases muy marcadas: al inicio un pulso muy seco ~ 1259- ~ 730 cal años AP (50 – 35 cm), indicado por la drástica disminución de *Hedyosmum* y el fuerte incremento de taxones de VA, acompañado de un aumento significativo de diatomeas perifíticas y algas, con baja presencia de Cyperaceae. Este evento tuvo tendencia a ser cálido y muy seco en el páramo de Frontino (Velásquez, 2005) lo mismo que en el Macizo de Tatamá (Rangel-CH et al., 2005), norte de los Andes (Marchant et al., 2001), lago Titicaca (Abbot, Binford, Brenner & Kelts, 1997), humedal El Triunfo (Giraldo, Velásquez & Pardo, 2017) y península de Yucatán (Brenner et al., 2001). Sin embargo, en Mistrató aunque seco aparentemente no fue cálido, lo que sugiere que en este sector es más de humedad que de temperatura por la baja altitud del sitio. Un cambio en la litología de areno arcillosa a arcillosa con moderada cantidad de raíces, dio paso a la segunda fase de este periodo (750 cal años AP – presente); más húmeda con suelos saturados, abundantes Cyperaceae e incremento de diatomeas bentónicas; aquí se recuperó *Hedyosmum* pero nunca como en periodos pasados, se mantuvo Cyatheaceae y resurgieron otros taxones de BA. La VA se ha mantenido alta y el BA no volvió a los registros del Holoceno Medio, quizá como efecto de la intervención antrópica que ha sufrido este lugar desde hace centurias.

Considerando que el humedal Medellincito se encuentra ubicado en el estrecho topográfico a 5°19N y 75°54W, es posible que la advección de humedad proveniente

de la corriente de Chorro del Chocó sea uno de los principales factores que determinen su humedad y la de sectores aledaños (e.g. Lloró a 80 km del humedal en línea recta), en el Pacífico colombiano es considerado como el sector más lluvioso del mundo (Poveda & Mesa, 1999, 2000). Esta circunstancia, más la posición altitudinal (bosque muy húmedo montano bajo) y ubicación en el límite de aguas de los flancos oriental y occidental de la cordillera Occidental, favorece que se den las condiciones húmedas necesarias para que el BA haya permanecido en los alrededores del sitio a lo largo de los últimos ~6700 cal años AP, y que fenómenos como ENSO (El Niño), que se ha incrementado durante el Holoceno Tardío (Yan et al., 2011), y la variación en la posición de la ZCIT, no hayan tenido un fuerte impacto en el humedal estudiado y, en contraste, se registra en otros sitios montañosos de Colombia. Otro factor que podría haber influido en la permanencia del BA durante todo el tiempo estudiado, es que el impacto de los intervalos secos se ve mitigado por la “precipitación horizontal” que en los bosques nublados contribuye frecuentemente con un 20 % o más del aporte hídrico total (Hölscher, Van Dijk & Bruijnzeel, 2004).

CONCLUSIONES

El estudio palinológico realizado por primera vez en el humedal Medellincito (cordillera Occidental de Colombia), permitió detectar cambios en la vegetación y el clima en los últimos 6700 cal años AP. A lo largo del registro predominaron condiciones húmedas; sin embargo, se presentaron pulsos secos alrededor de 6700, 5900, 5100, 4500, 4100-4.300, 3200-1300, 1000-750 cal años AP. Durante todo el periodo la vegetación dominante alrededor del sitio fue BA y en el sitio mismo predominaron gramíneas, Asteraceae y Ericaceae. En las últimas centurias se incrementaron también taxones de Lycopodiaceae y Caryophyllaceae. Estas condiciones son debidas probablemente a la localización del humedal en la zona de influencia de la corriente en Chorro del occidente colombiano y de la ZCIT, sumado a la baja altitud y posicionamiento en la divisoria de aguas de la cordillera.

El fenómeno El Niño, de gran impacto en el occidente de Colombia como generador de sequías, no parece registrarse sistemáticamente en este núcleo, aunque es posible que algunos de los pulsos secos puedan atribuirse finalmente a su influencia.

El humedal desde comienzos del registro no ha tenido un cuerpo de agua; en su lugar dominaron los pantanos esporádicos con Cyperaceae como principal taxón.

En los últimos 150 años se ha modificado significativamente el paisaje en el humedal y su zona de amortiguación, por la intervención antrópica relacionada con actividades agropecuarias y extracción selectiva de árboles maderable que fragmentan los bosques y dan paso al establecimiento de VA, principalmente Gramíneas y, consecuentemente, la disminución de la vegetación de BA (e.g. Cyatheaceae y *Hedyosmum*).

Las condiciones paleoecológicas del humedal con respecto a la temperatura pueden ser menos precisas considerando que no se hallaron indicadores para este factor (e.g. vegetación sumergida); no obstante, la presencia de algunos taxones higrófilos propios de bosques de niebla y lluvioso como *Hedyosmum* y *Cyatheaceae*, permiten hacer algunas interpretaciones en conjunto con las diatomeas, la VA y la de pantanos.

Los humedales de los orobiomas transicionales de BS y BA en la cordillera Occidental de Colombia, también constituyen un potencial científico para el estudio del Holoceno y, de esta manera, poder explorar, indagar e inferir sobre la dinámica del clima y la vegetación a nivel global, regional y local; de modo que puedan aportar información relevante sobre las condiciones ambientales de estas zonas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados-VIP de la Universidad de Caldas por la financiación de este proyecto (proyecto No. 202010017331). Al personal del IIES de la Universidad de Caldas, al laboratorio de Paleoecología de la Universidad Nacional por su invaluable apoyo logístico y a Julian A. Salazar editor de esta publicación por su apoyo en el proceso de edición.

REFERENCIAS

- Abbot, M., Binford, M., Brenner, M. & Kelts, K. (1997). A 3500 14C yr high - resolution record of water - level changes in Lake Titicaca, Bolivia/Perú. *Quaternary Research*, 47, 169–180.
- Alzate, J. M., Poveda, G., Montoya, P. A., Ayala, J. C., Olaya, C. & Chica, A. (2004). ¿Ha sido el paso de Mistrató labrado por el chorro del Chocó? *Memorias del XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*. Armenia, Quindío, Colombia.
- Ballesteros, H., Ríos, C., Hernández, J., Restrepo, R., Gallego, L., López, F., Rojas, J. (2005). *Plan de manejo Parque Nacional Natural Tatamá: plan básico de manejo 2005-2009* [Documento].
- Berrio, J. C., Behling, H. & Hooghiemstra, H. (2000). Tropical rain-forest history from the Colombian Pacific area: a 4200-year pollen record from Laguna Jotaordo. *The Holocene*, 10 (6), 749–756.
- Blaauw, M. & Christeny, J. A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6 (3), 457–474. DOI: <https://doi.org/10.1214/11-BA618>.
- Bogotá, R. G. (2011). *Pleistocene centennial-Scale vegetational, environmental, and climatic change in the Colombian Andes: based on biotic and abiotic proxy analyses from lake Fúquene sediments*. Amsterdam: University of Amsterdam.
- Brenner, M., Hodell, D. A., Curtis, J. H., Rosenmeier, M. F., Binford, M. W. & Abbott, M. B. (2001). Abrupt climate change and pre-columbian cultural collapse. In V. Markgraf. (Ed.), *Interhemispheric Climate Linkages* (pp. 87–103). California: Academic P.
- Colinvaux, P. De Oliveira, P. & Moreno, J. (1999). *Amazon Pollen Manual and Atlas. Quaternary Science Reviews*, 20(18), 1955-1956
- Erdtman, G., 1960. *The acetolysis method, a revised description. Svensk Botanisk Tidskrift* (Vol. 54).
- Espejo, B. & Rangel, O. (1989). Análisis palinológico del sitio Cabaña de San Nicolás (perfil 8) en el parque Puracé. *Archaeology*, 2, 138–165.
- Giraldo, M. J., Velásquez, C. & Pardo, A. (2017). Late Holocene pollen-based paleoclimatic reconstruction of the El Triunfo wetland, Los Nevados National Park (Central cordillera of Colombia). *The Holocene*, 450, 1-12.
- Gómez, A. (2009). *Plan de Gestión del Parque Municipal Natural Arrayanal-Mistrató, Departamento de Risaralda*. Pereira, Colombia: CARDER- Universidad Tecnológica de Pereira.
- González-Carranza, Z., Hooghiemstra, H. & Vélaz, M. I. (2012). Major altitudinal shifts in Andean vegetation on the Amazonian flank show temporary loss of biota in the Holocene. *The Holocene*, 22, 1227–1241.
- Grimm, E. (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. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7)
- Groot, M. H. M., Bogotá, R. G., Lourens, L. J., Hooghiemstra, H., Vriend, M., Berrio, J. C., Tuenter, E., Jansen, M. W. W. (2011). Ultra high resolution pollen record from the northern Andes reveals rapid shifts in montane climates within the last two glacial cycles. *Climate of the Past*, 7, 299–316. DOI: <https://doi.org/10.5194/cp-7-299-2011>

- Hölscher, D., Kohler, L., Van Dijk, A. & Bruijnzeel, L. (2004). The importance of epiphytes to total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica. *Journal of Hydrology*, 292(1–4), 308–322.
- Hooghiemstra, H. (1984). Vegetational and Climatic History of the High Plain of Bogotá, Colombia: A Continuous Record of the Last 3.5 Million Years. In T. Van der Hammen (Ed.), *The Quaternary of Colombia* (pp. 368). Bogotá, Colombia.
- Hurtado, A. (2009). *Estimación De Los Campos Mensuales Historicos De Precipitación En El Territorio Colombiano* (tesis de maestría). Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2305/1/71364267.2009.pdf>
- Ihaca, R. & Gentleman, R. (1996). R-A Language for Data Analysis and graphics.pdf. *Journal of Computational and Graphical*, 5, 299–314.
- Marchant, R., Behling, H., Berrío, J. C., Cleef, A., Duivenvoorden, J., Hooghiemstra, H., Wille, M. (2001). Mid to Late-Holocene pollen-based biome reconstructions for Colombia. *Quaternary Science Reviews*, 20, 11289–11308.
- Muñoz, P. (2013). *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* (thèse de doctorat). Univ. Genève, Genève, Suiza.
- Muñoz, P., Gorin, G., Parra, N., Velásquez, C., Lemus, D., Monsalve, M. C. & Jojoa, M. (2017). Holocene climatic variations in the Western cordillera of Colombia: A multiproxy high-resolution record unravels the dual influence of ENSO and ITCZ. *Quaternary Science Reviews*, 155, 159–178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.11.021>.
- Murillo, M. & Bless, M. (1974). Spores of recent Colombian Pteridophyta. I. Trilete spores. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25, 319–365.
- Parra, L. N., Rangel, O. & Van der Hammen, T. (2006). Análisis Facial de Alta Resolución de sedimentos del Holoceno Tardío en el Páramo de Frontino, Antioquia, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 133–176.
- Philander, S. G. H., Gu, D., Halpern, D., Lambert, G., Lau, N. C., Li, T. & Pacanowski, R. (1996). Why the ITCZ is mostly north of the equator. *Journal of Climate*. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<2958:WTIIMN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<2958:WTIIMN>2.0.CO;2)
- Poveda, G. & Jaramillo, A. (2000). ENSO-related variability of river discharges and soil moisture in Colombia Biospheric Aspects of the Hydrologic Cycle, IGBP. *Biospheric Aspects of the Hydrologic Cycle, IGBP*, 8, 3–6.
- Poveda, G. (2004). La Hidroclimatología De Colombia: Una Síntesis Desde La Escala Inter-Decadal. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias*, 28, 201–222.
- Poveda, G. & Mesa, O. (1999). La Corriente de chorro superficial del Oeste (“Del Chocó”) y Otras Dos Corrientes de Chorro en Colombia: Climatología y Variabilidad Durante las Fases del ENSO. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias*, 23(89), 517–528.
- Poveda, G. & Mesa, O. (2000). On the Existence of Lloró (the Rainiest Locality on Earth): Enhanced Ocean-Land-Atmosphere Interaction by a Low-Level Jet. *Geophysical Research Letters*, 27(11), 1675–1678.
- Poveda, G., Ramírez, J. & Jaramillo, A. (2001). Modelación estocástica de la variabilidad anual e interanual de la humedad del suelo en Colombia bajo diferente cobertura vegetal. *Memorias IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. Buenos Aires, Argentina.
- Rangel-CH, J. O., Moyano, E. & Van der Hammen, T. (2005). Estudio palinológico del Holoceno de la parte alta del macizo de Tatamá. En T. V. der H. M., J. O. Rangel-Ch. & A. M. Cleef. (Eds.), *La cordillera Occidental Colombiana, Transecto Tatamá. Estudio de Ecosistemas Tropicandinos-Ecoandes 6* (pp. 757–796). Berlín: J Cramer (BORNTRAEGER).
- Rangel-CH, J. O., Rivera, O., Franco, P., Torres, J. H., Van der Hammen, T. & Cleef, A. M. (2005). Catálogo de la flora vascular del macizo de Tatamá. En T. V. der H. M., Rangel-Ch, J. O. & A. M. Cleef. (Eds.), *La cordillera Occidental Colombiana, Transecto Tatamá. Estudio de Ecosistemas Tropicandinos-Ecoandes 6* (pp. 288–376). Berlín: J Cramer (BORNTRAEGER).
- Roubik, D. & Moreno, J. (1991). Pollen and spores of Barro Colorado Island. Monographs in Systematic Botany. *Missouri Botanical Garden*, 36, 1–270.
- Rueda, Ó. & Poveda, G. (2006). Variabilidad Espacial y Temporal Del Chorro Del “Choco ” y su Efecto en la Hidroclimatología de la Región del Pacifico Colombiano. *Meteorología Colombiana*, 10(501), 132–145.
- Ruiz, E. (2005). Climosecuencia altitudinal de los suelos del transecto Tatamá (cordillera Occidental). En T. V. der H. M., J. O. Rangel-Ch. & A. M. Cleef (Eds.), *La cordillera Occidental Colombiana, Transecto Tatamá. Estudio de Ecosistemas Tropicandinos-Ecoandes 6* (pp. 156–224). Berlín: J Cramer (BORNTRAEGER).
- Sirap Eje Cafetero, W. C. & Wildlife Conservation Society, T. N. C. (2013). *Clasificación de Ecosistemas Naturales Terrestres del Eje Cafetero, Análisis de Representatividad del Sistema Regional de Áreas Protegidas*. Recuperado de http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/eje_cafetero_final_marcadores.pdf.
- Velásquez, C. & 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. *Palaeobotany and Palynology*, 194, 38–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2013.03.001>
- Velásquez, C. (1999). *Atlas Palinológico de la Flora Vascular Paramuna de Colombia: Angiospermae*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Velásquez, C. (2005). *Paleoecología de Alta Resolución del Holoceno Tardío en el Páramo de Frontino Antioquia*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Wanner, H., Beer, J., Butikofer, J., Crowley, T. J., Cubasch, U., Flückiger, J.,...Widmann, M. (2008). Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27, 1791–1828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>
- Yan, H., Sun, L., Wang, H., Qiu, S. & Yang, C. (2011). A record of the Southern Oscillation Index for the past 2,000 years from precipitation proxies. *Nature Geosciences*, 4, 611–614.