

Boletín Geológico, 50(2), 2023

<https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.50.2.2023.712>



This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Manuscrito recibido: Agosto 31, 2023

Revisión recibida: Noviembre 22, 2023

Aceptado: Noviembre 26, 2023

Publicado en línea: Diciembre 12, 2023

Data article

## Datos del Núcleo 14 - Sedimentos del pantano La Bramadora, Sopetrán, Antioquia, Colombia

Core 14 data - Pantano La Bramadora sediments, Sopetrán, Antioquia, Colombia

María Teresa Flórez Molina<sup>1</sup>✉, Luis Norberto Parra Sánchez<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia

### RESUMEN

El Pantano La Bramadora en Sopetrán, Antioquia, Colombia, está sometido a un régimen de torrencialidad. Este ha permitido la acumulación de, por lo menos, 950 cm de sedimentos arcillosos mediados por paleosuelos en el techo, centro y base, así como dos discordancias. Por el interés que reviste el Núcleo 14, se planteó la necesidad de revisar si guardaba evidencias de eventos de precipitación acaecidos en la cuenca, al menos, durante el último milenio. A través de la litoestratigrafía, tefroestratigrafía, pedoestratigrafía y quimioestratigrafía se hallaron sensores paleoclimáticos que no solo permitieron resolver el objetivo, sino que precisaron la presencia de eventos volcánicos globales y locales, de precipitación y sequía, y dieron respuestas para entender la formación del depósito sedimentario, definir ambientes y determinar la tasa de sedimentación media (1 cm/año). Así, se logró mayor claridad sobre las condiciones paleoclimáticas de la cuenca durante los últimos 1000 años A. D. Los resultados más relevantes se expresan en tablas, mapas, figuras y documentos en formatos Excel/.kml/.jpg/.doc, y corresponden a datos abiertos útiles para la comunidad científica.

**Palabras clave:** Eventos extremos, precipitación, sequía, erosión, escorrentía, depositación.

### ABSTRACT

The La Bramadora Reservoir in Sopetrán, Antioquia, Colombia, is subject to a torrential regime, which has allowed the accumulation of at least 950 cm of clayey sediments mediated by paleosols at the roof, center, and base, as well as two unconformities. Due to the interest that “Núcleo14” has, the need was raised to see if it held evidence of precipitation events in the basin, at least, during the last millennium. For this it was necessary, through lithostratigraphy, tephrostratigraphy, pedostratigraphy, and chemostratigraphy, to find paleoclimatic sensors that not only solved the objective but also specified the presence of global and local volcanic events, precipitation, and drought, and provided answers to understand the formation of the sedimentary deposit, define environments and determine the average sedimentation rate (1 cm/year), achieving clarity on the paleoclimatic conditions that occurred, in the last 1000 years AD, in the said basin. The most relevant results that define the achieved objective are expressed in tables, maps, figures, and documents in Excel/.kml/.jpg/.doc formats, which constitute useful open data for the scientific community.

**Keywords:** Extreme events, precipitation, drought, erosion, runoff, deposition.

**Citación:** Flórez Molina, M.T., Parra Sánchez, L.N. (2023). Datos del Núcleo 14 - Sedimentos del Pantano La Bramadora, Sopetrán, Antioquia, Colombia. Boletín Geológico, 50(2). <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.50.2.2023.712>

## 1. INTRODUCCIÓN

El Pantano La Bramadora, Antioquia, guarda el registro continuo sedimentario de los últimos 1000 años, que permite correlacionarlos con eventos volcánicos y climatológicos. El estudio de estos fenómenos extremos de precipitación, apoyado en datos climáticos colombianos, es particularmente limitado,

porque las series de tiempo instrumentales existentes son cortas e incompletas. Por ello, métodos paleoecológicos, con una resolución apropiada anual o subanual, cobran particular importancia. Se han empleado con éxito registros geológicos o diversos materiales anillados, tales como árboles, corales o núcleos de hielo y sedimentos con laminaciones (varvas), para extraer este tipo de información paleoclimática. En estos materiales se han

desarrollado métodos especiales para tratar de asignar cada anillo o lamina a una fecha aproximada, el reto fue designar una fecha calendario, para lo cual se exploran variables en estos materiales que sean sensibles u ocasionadas por eventos volcánicos con fecha conocida. Para el departamento de Antioquia existen pocos estudios sobre climatología histórica a diversas escalas temporales (interanual, interdecadal y ciclos seculares). Generalmente, estos están basados en series climatológicas instrumentales con variaciones interanuales asociadas al cambio climático (precipitación, temperaturas y caudales), y estudios en el Páramo de Frontino que han dado respuestas a cambios ecosistémicos con resoluciones decadales, para los últimos 16 mil años. El Pantano La Bramadora presenta una tasa de sedimentación de 1 cm/año, lo cual permite realizar estudios paleoclimáticos con una resolución interanual, al menos, para los últimos 1000 años. Esto permite llenar en parte el vacío temporal y de resolución entre los estudios previos.

El objetivo de esta investigación fue verificar si en el registro sedimentario de 9,5 m, recuperado en el pantano, se encuentran evidencias de eventos extremos de precipitación, especialmente, aquellos que pudieran estar impresos en los sedimentos y ser visualizados a través de datos litológicos, estratigráficos, pedológicos, geoquímicos y de pérdidas de peso por ignición (*Loss on ignition* – LOI, Dean (1974)). Para abordar este objetivo se extrajeron dos núcleos de sedimentos N13 y N14. Ambos se describieron en campo y luego en laboratorio. El N13 se dejó como testigo mientras que el N14 se utilizó para obtener la información requerida. Las dataciones realizadas en los sedimentos recuperados permitieron calcular las tasas de sedimentación y dar fechas en años A. D.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

El Pantano La Bramadora se ubica en las coordenadas 1 141 824,99 este y 1 207 536,7 norte, vereda La Puerta, Sopetrán, Antioquia (Figura 1). La zona de vida es bosque seco tropical (Bs-T), con temperatura superior a 24 °C, precipitación total anual entre 800 y 2000 mm, evapotranspiración potencial entre 0,8 y 2,0, y una altura 535 m s. n. m. El pantano se encuentra en la parte baja de una cuenca torrencial desarrollada sobre rocas sedimentarias —Formación Amaga, Miembro Superior, flanco oeste del sinclinal Ahuyamal— donde dominan areniscas y arcillolitas pardas y pardo rojizas, y espesos bancos conglomeráticos con cantos redondeados heterométricos y heterogéneos soportados por una matriz areno limoso pardo rojiza. Existen zonas con regolitos poco espesos desarrollados a partir de esas rocas sedimentarias.

Geomorfológicamente, toda la cuenca está sometida a un régimen torrencial y al coluviamiento de materiales finos arrastrados por arroyadas difusas en las laderas o concentradas en los cauces como los fenómenos dominantes. Este régimen se expresa como pequeños abanicos torrenciales depositados en las desembocaduras de los cauces y láminas de sedimentos finos depositados al pie de las laderas, lo que da al conjunto de las partes bajas de las quebradas principales el aspecto de valles coluviales con un perfil transversal cóncavo característico. El Pantano La Bramadora se ubica justo en la parte distal de estos valles coluviales que conforman la cuenca de la Quebrada la Bramadora, que recibe tanto los flujos de agua subterránea como los superficiales intermitentes que recorren estos valles que alimentan toda la cuenca. La lámina de agua dentro del pantano alcanza un espesor de pocos centímetros y su duración varía entre horas y días, dependiendo de las precipitaciones registradas en el área, que, por lo general, son escasas pero fuertes y muy erosivas (Flórez-Molina et al., 2023 a, b).

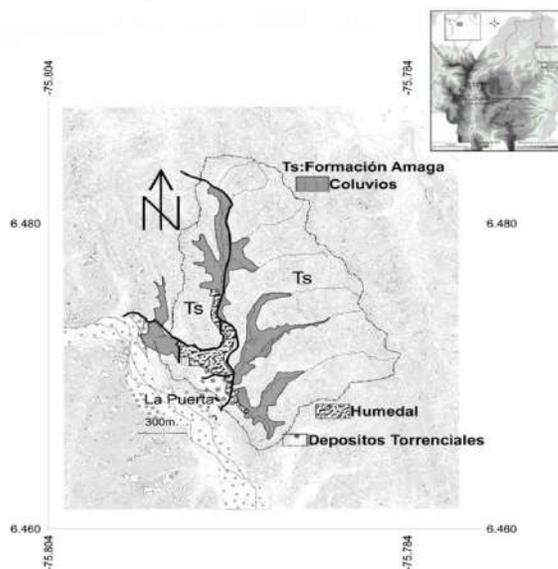


Figura 1. Localización del Pantano La Bramadora, vereda La Puerta, Municipio de Sopetrán, departamento de Antioquia, Colombia a 535 m. s. n. m. Modificado de Flórez-Molina et al. (2023 a y b).

## 3. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Este artículo referencia los datos que hacen parte de los descriptores de los sedimentos del N14 de 950 cm, extraído del Pantano La Bramadora, tales como litoestratigrafía, tefroestratigrafía, pedoestratigrafía y quimioestratigrafía del registro sedimentario, así como la localización en años A. D. de algunos eventos globales y locales que pudieron quedar impresos en los sedimentos del pantano en formato Excel (Anexo 1). En la Tabla 1 se especifican las características más importantes tenidas en cuenta para su recopilación.

Tabla 1. Especificaciones de los datos.

Sujeto	Ciencias de la Tierra
Área temática específica	Estratigrafía/Geoquímica/Paleosuelos (Excel)
Tipo de dato	Tabla/Mapa/Figura/Documento
Cómo fueron adquiridos los datos	<p>Método: Recuperación sedimentos Pantano La Bramadora, N13 y N14, con sonda de perforación tipo rusa. El N14 fue descrito y seccionado al centímetro para diversos análisis: estratigráficos, litológicos, pedológicos, geoquímicos por XRF, mineralógicos y determinación de LOI.</p> <p>Instrumentos: Equipo perforación sonda rusa; espectrómetro de fluorescencia de rayos X Épsilon 1; cámaras, GPS; computador, impresora, discos duros, memorias USB; tamices 140 y 230 <math>\mu\text{m}</math> con tapa y fondo; microscopio petrográfico Olympus con cámara de fotografía; balanza analítica; placa calentadora; mufla; horno; nevera.</p>
Formato de los datos	Excel/.kml/.jpg/.doc
Parámetros para la recopilación de los datos	<p>Trabajo previo a la perforación: Se realizó la recopilación referencial del sitio y una visita preliminar para conocer las condiciones para tener en cuenta en la perforación y recuperación de los núcleos de sedimentos con los que se trabajaría.</p> <p>Con los datos analizados se definió donde se realizarían dos perforaciones, una para trabajar y otra que quedaría como testigo.</p> <p>Con un punzón se buscó el sitio más profundo en un radio de 5 m, para perforar y recuperar los dos núcleos de sedimentos.</p> <p>Se limpió el sitio conservando la menor perturbación del lugar y se instaló la plataforma de perforación.</p> <p>Con la sonda rusa se recuperaron dos núcleos, separados 2 m, y un desfase de 25 cm para corregir defectos de empalme.</p>
Descripción de la recopilación de datos	<p>Recopilación N13 y N14 en campo: La sonda rusa permite recuperar sedimentos en secciones de 50 cm cada una; es accionada manualmente, lo cual indica que puede llegar hasta un estrato duro que impida su maniobra o hasta donde la capacidad humana lo haga posible.</p> <p>Para este caso, se recuperaron dos núcleos de sedimentos en el pantano, uno de 10 m, nombrado N13 y otro de 9,5 m nombrado N14.</p> <p>Cada que salía la sonda con 50 cm de sedimentos se fotografiaba y se describía el sedimento recuperado; luego, se empacaban en la mitad de un tubo de PVC de 6 cm de diámetro previamente marcado y se envolvían con película plástica autoadherente, para evitar su descompresión, pérdida de humedad o derrame. Se sellaban uno con otro y se guardaban en una nevera de icopor con hielo seco hasta su tránsito al laboratorio del grupo GAIA de la Universidad de Antioquia.</p> <p>En laboratorio se refrigeraron a 4 °C, hasta su descripción detallada y su partición al centímetro, su empaque y marcación.</p> <p>En laboratorio, el N14 fue abierto y descrito detalladamente, luego se dividió al centímetro y cada rodaja se guardó en bolsas de cierre hermético previamente marcadas para los análisis posteriores, estas fueron refrigeradas a 4 °C.</p> <p>Para la obtención de los datos geoquímicos, cada rodaja (950 en total) fue cuarteada. Una submuestra fue lavada en agua desionizada Tipo I, en un juego de tamices (-140+230+fondo (<math>\mu\text{m}</math>)). Lo que</p>

	<p>quedó en el fondo se vació a un tubo de vidrio de 15 ml con tapa, previamente marcado.</p> <p>El contenido de cada tubo fue luego leído en el espectrómetro XRF – Épsilon 1. El archivo arrojado de cada lectura fue llevado a una base de datos en Excel, previamente construida para tal fin.</p> <p>Para determinar la variable de pérdidas de peso por ignición (LOI), de cada cm del N14, se tomó una submuestra de 1 c. c., se pesó y se colocó en un papel de aluminio, luego se llevó a una estufa para su secado por 24 horas a 105 °C. Al cabo de este tiempo, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó. Anotado el peso, se llevó la muestra a un crisol, previamente pesado y tarado, y este se colocó en una mufla a temperatura de 550 °C, durante 2 horas, una vez que la mufla alcanzó dicha temperatura. Luego, la muestra se dejó enfriar y se pesó de nuevo anotando su valor. Este procedimiento se efectuó para todas las muestras (950) del N14. Con los datos obtenidos en cada procedimiento se construyó la matriz del LOI y los datos se reportaron en porcentajes, para lo cual el valor obtenido se multiplicó por 100 y se reportaron los valores en porcentajes (LOI%).</p> <p>Obtención datos cronológicos (método radiométrico):</p> <p>Las muestras para datación fueron seleccionadas desde el momento de la recuperación del N14, dos, una entre el rango 623-636 cm y la otra entre 870-882 cm, cuando se abrió el N14 en el laboratorio, antes de despiezarlo y evitando la manipulación directa con el sedimento; se tomó una columna de 1 cm en todo el rango indicado en cada uno de estos dos tramos. Las muestras se colocaron de manera independiente en un papel de aluminio y luego fueron pesados hasta obtener para cada tramo dos muestras (15 g). De acuerdo con la exigencia del laboratorio <i>Beta Analytic</i>, se tomaron 7,5 g por muestra. Se tuvieron en ambos tramos dos muestras, una para enviar al laboratorio y otra como testigo. Cada muestra se secó cuidadosamente al aire, se volvió a pesar y se empacó nuevamente en papel aluminio protegido con una bolsa de cierre hermético previamente marcada indicando su profundidad y el nombre del sitio. Se colocaron en una caja de cartón, se marcaron siguiendo las indicaciones del laboratorio y se enviaron al laboratorio de Beta Analytic en La Florida, EE. UU.</p> <p>Para completar toda la información se tomaron fotografías de la perforación, de las secciones de 50 cm de cada núcleo (19 secciones por núcleo para un total de 38 secciones), de la cuenca, del pantano, de la vegetación. Todo ello fue un apoyo para la interpretación y comprensión del objetivo de investigación.</p>
Ubicación de la fuente de datos	<p>El Pantano La Bramadora se ubica en la vereda La Puerta, municipio de Sopetrán, Antioquia, Colombia.</p> <p>Las coordenadas de los núcleos N13 y N14, que están separados 2 m y a una altura de 535 m s. n. m., son 06° 28,325 norte y 075° 47,788 oeste.</p>
Accesibilidad de datos	<p>Los artículos de datos están disponibles como anexo de este artículo. Ver Material Suplementario: nueve anexos.</p>

#### 4. IMPORTANCIA DE LOS DATOS

Colombia posee abundantes datos sobre cambios ecosistémicos y climáticos durante los últimos 2,7 Ma. Estos se encuentran a distintas resoluciones en centenares de núcleos estudiados, especialmente por *van der Hammen* y sus colegas y alumnos, desde los años 1960. Los datos a resoluciones más finas se ubican en el Holoceno y poseen resoluciones de varias décadas. El N14 del Pantano La Bramadora es el primero de estos en alcanzar la

resolución anual y de ser estudiadas sus laminaciones se podrían alcanzar resoluciones subanuales.

La liberación de estos datos es muy importante para analizar los cambios en el clima colombiano a la resolución anual y durante el último milenio, lo cual permite llenar un vacío de información inherente en las series climáticas instrumentales disponibles. La ubicación de Colombia en el trópico es particularmente importante para incorporar sus datos a la elaboración de modelos climáticos globales y para contrastar fenómenos entre las latitudes templadas y tropicales.

En la medida en que se empiecen a analizar en el país otros indicadores climáticos, entre ellos anillos de árboles, corales y estalactitas, o se descubran otros núcleos sedimentarios con resoluciones temporales similares, las bases de datos publicas presentadas en este artículo adquieren mayor valor.

Estos datos podrán ser utilizados para completar el conocimiento en paleoclimas, paleoecología, paleosuelos; igualmente, en estudios sedimentológicos, geoquímicos, estratigráficos, ya que brindan un buen registro a escala anual de los últimos 1000 años guardados en los sedimentos de un pantano bajo bosque seco tropical (BS-T), una de las zonas de vida más sensibles y afectadas a nivel de comunidades humanas, vegetales y animales del trópico y en especial de Colombia.

## 5. MÉTODO

**Trabajo de oficina:** Comprendió las siguientes acciones: revisar bibliográfica, planear trabajo de oficina y de campo, adquirir materiales y equipos.

**Materiales requeridos en campo:** herramientas básicas: machete, cajas de icopor, manilas, libretas de campo, colores, cinta de enmascarar ancha, *Viniplast*, tubos PVC de 6 cm cortados a la mitad y en porciones de 50 cm, hielo seco, marcadores, lapiceros, lápiz, colores, lienzas, cuchillo, toallas de secado, baldes, caneca de agua limpia, tablas de 1 m para plataforma de perforación, guía en hierro para sonda rusa, bolsas de cierre hermético, llaves de presión, alicate, martillo, tabla de colores Munsell.

**Materiales requeridos en el laboratorio:** agua desionizada, viales, tubos de ensayo, Becker, papel de aluminio, espátulas, pipetas Pasteur, portaobjetos, cubreobjetos, crisoles de porcelana, bandejas, botellas lavadoras, cajas plásticas para almacenar muestras, tamices en acero número 140, 230, con fondo y tapa.

**Reactivos:** Agua oxigenada grado reactivo, agua desionizada Tipo I, Bálsamo de Canadá, aceite de inmersión. Isopropanol-amoniaco 1:1

### **Equipos:**

Cámaras, GPS, computador, impresora, discos duros, memorias USB.

Juego tamices 140 y 230  $\mu\text{m}$  con tapa y fondo.

Sonda rusa para perforación de los sedimentos en el pantano con varillas de acero y un punzón.

Equipo de fluorescencia de rayos X portátil Épsilon 1.

Microscopio óptico, balanza analítica, placa calentadora.

Mufla, horno, nevera.

### **Trabajo de campo**

Extracción de los núcleos de sedimentos: en el pantano La Bramadora, a 535 m s. n. m., inicialmente se realizó una visita de reconocimiento; se observó el humedal en toda su extensión y se planeó el trabajo de campo para la recuperación de dos núcleos de sedimentos, uno que quedaría como testigo y el otro en el cual se trabajaría. El 13 de julio de 2022 se efectuó la primera perforación y el núcleo se nombró N13. El 14 de julio de 2023 se realizó la segunda perforación y el núcleo se nombró N14; este se tomó con un desfase en superficie de 0,25 cm con el fin de cubrir el traslape entre los dos núcleos, separados entre sí, 2 m.

En campo se decidió que sobre el N14 se realizarían todas las actividades propias para responder a los objetivos, dado que durante la recuperación del N13 se perdieron 25 cm de sedimentos del primer set recuperado, excesivamente mojado, fibroso y sin consistencia, mientras que en el N14 se recuperó por completo el primer set (1-50 cm).

Inicialmente, se hicieron cinco sondeos con un punzón, en forma radial, separados cada uno 5,0 m. El más profundo se seleccionó para la perforación, y en él se limpió un área de 3,0 m de diámetro y se fijó una plataforma metálica para la manipulación de la sonda rusa que extrae material en intervalos de 50 cm exactos, sin que estos se compriman o contaminen, ella corta y cierra herméticamente antes de su extracción del sedimento (Moore *et al.*, 1991).

Se recuperaron dos núcleos gemelos de sedimentos, los cuales alcanzaron el fondo a los 10 m de profundidad y fueron nombrados como N13 y N14. Cada uno se fue describiendo a la vez que los sets fueron extraídos, lo que permitió diferenciar capas inorgánicas y orgánicas con cambios de coloración, textura y estructura e incluso algunos segmentos dominados por fibras y abundante material vegetal. Cada vez que se extraía el intervalo de 50 cm, se fotografiaba y se empacaba en tubos de PVC, se cubría con *Viniplast* y se guardaba en cajas de icopor con hielo seco para su traslado hasta el laboratorio del grupo GAIA de la Universidad de Antioquia, para su descripción estratigráfica y posterior seccionamiento en rodajas de 1 cm.

### **Trabajo de laboratorio**

Extracción de las muestras del núcleo de sedimento: todo lo que se describe a continuación se realizó sobre el núcleo N14, pues el núcleo N13 se preservó como testigo.

Cada porción de 50 cm del N14 fue destapada y descrita estratigráficamente y de acuerdo con lo observado previamente en campo. Se determinó el color, textura, estructura, rasgos sobresalientes y se efectuaron los límites de capas minerales o paleosuelos. Cada 50 cm o “set de 50 cm” se describió tanto la

litoestratigrafía como la pedoestratigrafía y se realizaron los respectivos diagramas a mano alzada. Se precisaron detalles sobresalientes como la presencia de capas de criptotefras, minerales macro, oxidación, alteración, olor, presencia de animalitos o restos de ellos y de tallos, semillas, carbón vegetal, fibras, cambios de color, estructura o textura, presencia de discordancias, suelos, paleosuelos y/o estratos minerales, si eran arcillosos y estaban bandeados y/o laminados, se medía su espesor.

Una vez las porciones de 50 cm fueron descritas y dibujadas con detalle, se procedió a seccionar cada set al centímetro. Al hacerlo, se verificó la presencia de más detalles lito y pedoestratigráficos para completar las descripciones. Cada submuestra de un centímetro fue guardada en una bolsa de cierre hermético previamente marcada hasta ajustar las 50 muestras de cada set de sedimentos recuperado (16 en total). Todas las muestras obtenidas del N14 fueron empacadas en cantidades de 50, de acuerdo con el set de sedimentos respectivo, en bolsas de cierre hermético, rotuladas así: 1-50, 51-100, 101-150, 151-200, 201-250, 251-300, 301-350, 351-400, 401-450, 451-500, 501-550, 551-600, 601-650, 651-700, 701-750, 751-800, 801-850, 851-900, 901-950 cm. Estas muestras fueron preservadas y almacenadas en frío a menos de 6 °C, hasta su posterior tratamiento.

Preparación de muestras para el análisis por fluorescencia de rayos X (XRF): la preparación de las muestras comprendió tomar una submuestra (1/4 de cm/muestra). Cada una de ellas se lavó con agua desionizada Tipo I, en un juego de tamices: -140+230+fondo  $\mu\text{m}$  (105 y 63 micras, respectivamente). De este lavado quedaron dos fracciones:

1) la fracción -140+230  $\mu\text{m}$  se lavó con una mezcla de isopropanol-amoniaco en una relación 1:1, para el análisis de microcomponentes fue conservada en un vial de 5 ml, previamente marcada y preservada en frío. Sin embargo, antes de su preservación se colocó en un portaobjetos, un cubreobjetos, y ambos en una placa calentadora. Sobre el portaobjetos se dejó caer una gota de la muestra; una vez seca, se bajó a una superficie de teflón. Sobre el portaobjetos se vació una gota de Bálsamo de Canadá ( $n=1,64$ ), se cubrió con la muestra que se secó previamente en el portaobjetos, se hizo una leve presión y luego en una bandeja se dejó secar al aire. Este mismo procedimiento se efectuó para las 950 muestras del N14. Cada placa sellada fue marcada y guardada en sendas cajas especiales para placas en el estudio microscópico, cada caja puede guardar hasta 100 placas. Estas se observaron cualitativamente, pero se estudiarán en detalle más adelante con miras a determinar y cuantificar los microcomponentes de cada sección del pantano.

2) la fracción -230+fondo  $\mu\text{m}$ , fracción soluble (limos, arcillas y iones libres en solución acuosa), se guardó en un envase de

vidrio de 15 ml, con tapa, previamente marcado para su lectura en el equipo portátil Épsilon1 - Analizador Espectrómetro XRF Épsilon 1 del Grupo CIDEMAT de la Universidad de Antioquia.

Para las lecturas en el equipo de XRF, inicialmente, se realizó una curva de calibración del equipo. Para ello se hizo una lectura por cinco veces a una misma muestra, con el objeto de verificar un resultado confiable. Esta misma calibración se realizó cada 100 muestras para mantener la confiabilidad de las lecturas. Para cada lectura se tomó una alícuota de 1 c. c. de la fracción soluble de cada submuestra y, una a una, se colocó en un dedal o porta muestra propio del equipo, luego se posicionó en el lector del equipo Épsilon 1, se cerró la tapa y se inició la lectura. Cada muestra tomó 25 minutos. Transcurrido este tiempo, el equipo arrojó una lectura con la geoquímica elemental, la cual se compiló en un archivo propio del programa con "formato CSV". Cada lectura fue transcrita a mano a una matriz de Excel para su análisis posterior. En todos los casos se guardaron los resultados del análisis elemental para cada muestra de sedimentos, y en total se obtuvieron 950 registros y 50 de rocas, saprolitos y calibraciones y/o repeticiones. El tiempo empleado en las lecturas fue aproximadamente de 6 meses corridos, trabajando en promedio de 5 a 8 horas diarias, lo que incluyó la preparación de las muestras, la lectura y el envasado de las muestras una vez leídas en el XRF para su preservación final.

Como se indicó, se realizaron varias matrices de Excel, una de la composición elemental de cada centímetro del N14, que tuvo 950 filas por 38 columnas (36 400 datos), otra matriz de la composición elemental de los saprolitos (3) y de las rocas (3), 6 filas por 38 columnas (228 datos).

Preparación de muestras para determinar pérdidas por ignición (LOI)

De cada cm del N14 se tomó una submuestra aproximadamente de 1 c. c., se pesó y se colocó en un papel de aluminio, luego se llevó a una estufa para su secado por 24 horas a 105 °C, al cabo de las cuales, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó, anotado el peso se llevó la muestra a un crisol, previamente pesado y tarado y este se colocó en una mufla a temperatura de 550 °C, durante 2 horas, después que la mufla alcanzó dicha temperatura. La muestra se dejó enfriar y se pesó de nuevo, luego se anotó el valor. Este procedimiento se efectuó para todas las muestras (950) del N14. Con los datos obtenidos en cada procedimiento se construyó la matriz del LOI.

Preparación de muestras para dataciones por radiocarbono  $^{14}\text{C}$  AMS:

Obtener una cronología confiable para sedimentos de pocas centurias no es tan sencillo, especialmente, porque la presencia de marcadores cronológicos de edad cierta, tales como

explosiones volcánicas, sequías, eventos ENSO, etc., no es tan frecuente o nítida como se desearía. Por ello, se utilizó la técnica de radiocarbono dado que el carbono-14 se forma continuamente en la atmósfera superior por el efecto de los neutrones de rayos cósmicos sobre los átomos de nitrógeno-14, oxidándose rápidamente en el aire para formar dióxido de carbono y entrar en el ciclo global del carbono.

Las plantas y los animales asimilan el carbono-14 a partir del dióxido de carbono durante toda su vida. Cuando mueren, dejan de intercambiar carbono con la biósfera y su contenido de carbono-14 empieza a disminuir a una tasa determinada por la ley del decaimiento radioactivo. Por lo tanto, la datación por radiocarbono es, básicamente, un método diseñado para medir la radioactividad residual. Al conocer la cantidad de carbono-14 remanente en una muestra, puede conocerse la fecha de la muerte del organismo.

No obstante, cabe señalar que los resultados de la datación por radiocarbono indican cuándo el organismo estaba vivo, pero no la fecha de utilización de su materia. La espectrometría de masas con aceleradores (AMS) es un método moderno de datación por radiocarbono que está considerado como la forma más eficiente de medir el contenido de radiocarbono de una muestra. En este método, el contenido de carbono-14 se mide directamente con relación al carbono-12 y al carbono-13 presente.

Las muestras para datación fueron seleccionadas desde el momento de la recuperación del N14, dos, una entre el rango 623-636 cm y la otra entre 870-882 cm, cuando se abrió el N14 en el laboratorio, antes de despiezarlo, evitando la manipulación directa con el sedimento, se tomó una columna de 1cm en todo el rango indicado en cada uno de estos dos tramos. Las muestras se colocaron de manera independiente en un papel de aluminio y luego fueron pesadas hasta obtener para cada tramo dos muestras (15 g). Con base en la exigencia del laboratorio *Beta Analytic*, se tomaron 7,5 g por muestra. Finalmente, se tuvieron en ambos tramos dos muestras, una para enviar al laboratorio y otra como testigo.

Cada muestra se secó cuidadosamente al aire, se volvió a pesar y se envolvió nuevamente en papel aluminio protegido con una bolsa de cierre hermético previamente marcada que indicaba la profundidad y el nombre del sitio. Se colocaron en una caja de cartón y se marcaron siguiendo las indicaciones del laboratorio y se enviaron.

## 6. ACCESO A LOS DATOS

Todos los datos presentados en este artículo pueden ser utilizados bajo los términos de datos abiertos. Únicamente se requiere hacer la citación bibliográfica.

## MATERIAL SUPLEMENTARIO

Anexo 1. Litoestratigrafía - Tefroestratigrafía – Pedoestratigrafía Sedimentos N14 Pantano La Bramadora 1 a 950 cm.xlsx

Anexo 2. Geoquímica Elemental - XRF – Rocas y Saprolitos Cuenca La Bramadora.xlsx

Anexo 3. Geoquímica Elemental – XRF – Sedimentos N14 Pantano La Bramadora 1 a 950 cm.xlsx

Anexo 4. Geoquímica Elementos Mayores – XRF – Sedimentos N14 Pantano La Bramadora 1 a 950 cm.xlsx

Anexo 5. Perdidas de Peso por Ignición - LOI% Sedimentos N14 Pantano La Bramadora 1 a 950 cm.xlsx

Anexo 6. Dataciones radiométricas – Sedimentos N14 Pantano La Bramadora.doc

Anexo 7. Fotografías de campo y de laboratorio – Pantano La Bramadora.doc

Anexo 8. Fotografías del Núcleo 14 – Sedimentos Pantano La Bramadora 1 a 9.5 metros.doc

Anexo 9. Fotografías cuenca la Bramadora.doc

## DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## RECONOCIMIENTOS

A los profesores Gonzalo Abril Ramírez y Carlos Albeiro Monsalve, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por su valioso e invaluable apoyo en la perforación y extracción de los dos núcleos de sedimentos, no solo por el aporte de la sonda rusa, sino por su trabajo material; del mismo modo, a los auxiliares de campo Jesús Arango Marín, Héctor Armando Cataño y a los habitantes de la vereda La Puerta del municipio de Sopetrán. A mi alma mater, Universidad de Antioquia, a la Facultad de Ingeniería, al grupo GAIA, a Luna, por su apoyo y acompañamiento sin límites. En especial, agradecemos los valiosos comentarios de los revisores anónimos.

## REFERENCIAS

- Dean, W. E., (1974). Determination of Carbonate and Organic Matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *Sediment Petrology*. 242-248.44.
- Flórez-Molina, M.T., Parra-Sánchez, L.N. y Calderón-Gutiérrez, J.A., (2023 a). Evidencias de eventos extremos de precipitación y de explosiones volcánicas entre 1455-2022, A.D, en el Pantano la Bramadora, Antioquia, Colombia.

- Boletín de Ciencias de La Tierra, 53, pp. 9 - 24. DOI: <https://doi.org/10.15446/rbct.n53.108060>
- Flórez Molina, M. T., Parra Sánchez, L. N., Abril Ramírez, G., & Monsalve Marín, C. A. . (2023 b). Sensores paleoclimáticos del último milenio preservados en los sedimentos del Pantano La Bramadora, Sopetrán, Colombia. Boletín Geológico, 50(2). <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.50.2.2023.711>
- Moore, PD, Webb, JA y Collinson, ME (1991) Análisis del polen. 2.<sup>a</sup> edición, Blackwell, Oxford, 1-216.