



**Análisis paleoambiental de una perforación en canales precolombinos de la cuenca media  
del río León (Golfo de Urabá, noroccidente de Colombia)**

Jhostin Esteban Ramos Murillo

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ecológico de Zonas Costeras

Director:

Dr. Alex Rúa

Asesores:

Dr. Fernando Parra

Dra. Heazel Grajales

Universidad de Antioquia  
Corporación Académica Ambiental  
Ecología de Zonas Costeras  
Turbo, Antioquia, Colombia

2022

## Análisis paleo ambiental de una perforación en canales precolombinos

Cita	(Ramos, 2022)
<b>Referencia</b> <b>Estilo APA 7 (2020)</b>	Ramos Murillo J. E. (2022). <i>Análisis paleoambiental de una perforación en canales precolombinos de la cuenca media del río León (Golfo de Urabá, noroccidente de Colombia)</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.



Grupo de Investigación Sistemas Marinos y Costeros (GISMAC).

Centro de Investigaciones Sociales y Humanas (CISH).



Biblioteca Sede Ciencias del Mar (Turbo)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jairo León Zapata Martínez.

**Jefe departamento:** Paula Andrea Quiceno Cuartas.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

### **Dedicatoria**

*A Dios creador del Universo y dador de sabiduría por darme la vida. A mi madre Luz Gladys Murillo, mi hermana Valentina Ramos y mi tía Eleodora Ramos, mujeres luchadoras y valientes que día a día luchan por sus sueños y su familia, mujeres que me inspiran a ser mejor persona y luchar por ellas cada día. A mi Padre Benito Ramos, mi abuelo Murillo y mis tíos Víctor y Mauricio, hombres ejemplares que me han enseñado el camino correcto y a luchar por la Familia.*

### **Agradecimientos**

Expreso agradecimiento al profesor William Andrés Posada Restrepo, investigador principal del proyecto Paleoambientes y Estructuras hidráulicas en la cuenca del Río León: Un estudio sobre estrategias adaptativas y desarrollos territoriales en el Urabá prehispánico (2019-28455), del cual hace parte esta investigación.

Al grupo de Investigación en Sistemas Marinos y Costeros - GISMAC

A mi director Alex Rúa y asesores Heazel Grajales y Fernando J Parra-Velandia por su conocimiento y apoyo en esta investigación.

A todos los profesores que me brindaron su experiencia y conocimiento en todos estos años de Universidad.

A mis compañeros de pregrado que fueron indispensables en toda la carrera y con los cuales tuve experiencias inolvidables, especialmente a: Marco Boto, Javier Venegas, María José Pacheco, Yesenia Gonzales, Kevin Morales y Juan Camilo García.

**Tabla de contenido**

**Resumen** .....8

**Abstract** .....9

**1.Introducción**.....10

**2.Objetivos** .....13

    2.1. Objetivo general .....13

    2.2 Objetivos específicos.....13

**3. Pregunta de investigación** .....14

**4. Hipótesis** .....14

**5. Metodología**.....15

    5.1 Área de Estudio .....15

    5.2 Fase de campo .....16

    5.3 Fase de laboratorio .....17

5.4 Análisis de datos.....18

**6. Resultados** .....19

    6.1 Análisis descriptivo .....21

    6.2 Análisis de correlación .....21

    6.3 Contenido sedimentario.....21

    6.4 Comparación de proxies geoquímicos .....23

**7. Discusión** .....24

    7.1 Características y propiedades de los proxies geoquímicos .....24

    7.2 Paleoambiente asociado a estas estructuras .....24

**8. Conclusión**.....27

**9. Recomendaciones** .....28

**Referencias**.....29

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b>	Descripción e interpretación estratigráfica del perfil litológico.....	20
<b>Tabla 2</b>	Edades del perfil recuperado en la cuenca media del río León.....	20
<b>Tabla 3</b>	Análisis descriptivo de los proxies geoquímicos .....	21
<b>Tabla 4</b>	Coefficientes de correlación de Spearman entre proxies geoquímicos y las edades .....	21
<b>Tabla 5</b>	Prueba U de Mann-Whitney de las concentraciones de los proxies geoquímicos. ....	23

**Lista de figuras**

**Figura 1** Localización del Área de estudio,..... 16

**Figura 2** Corte de excavación inicial sobre las estructuras arqueológicas ..... 17

**Figura 3** Estratigrafía del perfil litológico recuperado en la cuenca media del río León..... 19

**Figura 4** Contenido sedimentario de proxies geoquímicos en el perfil litológico del núcleo extraído..... 23

**Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>A.D.</b>	Anno domini
<b>Fe</b>	Hierro
<b>Ti</b>	Titanio
<b>Al</b>	Aluminio
<b><sup>14</sup>C</b>	Carbono 14

## **Resumen**

La ocurrencia de estructuras precolombinas (canales y camellones) en la región de Urabá es masiva, pero ellas carecen hasta ahora de contextualización paleoambiental. Se realizó un análisis radiocronológico ( $^{14}\text{C}$ ) junto con el contenido de Hierro (Fe), Aluminio (Al) y Titanio (Ti), que sirvieron a la interpretación del registro sedimentario de un canal precolombino ubicado en la cuenca media del río León. La profundidad de la perforación alcanzó 1m, que corresponde a un registro sedimentario de al menos 1400 años, iniciando en el 570 A.D. En la base de la perforación, se determinaron los mayores contenidos de Fe (38,9 g/kg), Al (24,2 g/kg) y Ti (900,4 mg/kg), indicando un periodo húmedo de altos niveles de precipitación y escorrentía. La correlación del contenido sedimentario de Fe, Al y Ti en el perfil fue estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ). El perfil de los contenidos indicó que la humedad disminuyó con una tendencia secular desde el periodo cálido medieval entre 830-944 A.D. hasta la pequeña edad de hielo entre 944-1478 A.D. Después de la pequeña edad hielo, la precipitación y escorrentía aumentaron levemente alrededor de 1700 A.D. bajo la influencia del periodo cálido actual. El registro paleoambiental de estas estructuras, evidencia intervención antropogénica tendiente al control de pulsos de inundación de origen fluvial en el neotrópico durante el cambio climático reciente.

*Palabras clave:* Canales y camellones precolombinos; Contenido sedimentario de Fe, Al y Ti; Precipitación y escorrentía; Periodo Cálido Medieval; Pequeña Era de Hielo.



**Abstract**

The occurrence of pre-Columbian structures (channels and ridges) in the Urabá region is massive, but they still lack paleoenvironmental contextualization. This study interprets the sedimentary record of a pre-Columbian channel drilled in the middle basin of the León River using analysis of radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ) along with the sedimentary content of iron (Fe), aluminum (Al), and titanium (Ti). The length of the drilled core was 1m, which corresponded to a sedimentary record spanning at least 1400 years since 570 A.D. The highest sedimentary contents of Fe (38.9 g/kg), Al (24.2 g/kg), and Ti (900.4 mg/kg) were found at the core base, indicating a wet period with high rates of both precipitation and runoff. The correlation between the sedimentary content of Fe, Al, and Ti in the profile was statistically significant ( $p < 0.05$ ). The content profiles of the three metals suggested that moisture declined with a secular trend from the Medieval Warm Period between 830-944 A.D. until the Little Ice Age between 944-1478 A.D. After the Little Ice Age, precipitation and runoff increased slightly from 1700 A.D. onwards under the influence of the Current Warm Period. The paleoenvironmental record of these structures shows that the anthropogenic intervention aimed at controlling flood pulses of fluvial origin in the Neotropics during recent climate change

*Keywords:* Pre-Columbian channels and ridges; Sedimentary content of Fe, Al and Ti; Precipitation and runoff; Medieval Warm Period; Little Ice Age.

## 1.Introducción

Desde la perspectiva arqueológica, los sistemas de canales y camellones son considerados un nodo cultural en el que convergieron la interacción social, el control territorial y la adaptación a los ecosistemas de tierras bajas anegables (Posada-Restrepo *et al.*, 2019). En estos sistemas policulturales se cosechaban cultivos típicos de las poblaciones prehispánicas antiguas como maíz, calabaza, aguacate y otras frutas (Beach et al., 2019). Estas estructuras facilitaron la colonización de las planicies inundables en el interior de Centro y Suramérica, así como en la antigua China, Angkor Wat, Nueva Guinea, y el África moderna (Helms, 1979; Plazas *et al.*, 1988; Bray, 1990; Reichel-Dolmatoff, 1997; Beach et al., 2019). En Colombia, estas estructuras arqueológicas se presentan en la Depresión Momposina y en el Golfo de Urabá. Los hallazgos de sistemas prehispánicos de canales y camellones en el Golfo de Urabá son abundantes pero recientes y permanecen sin interpretación de causas, implicaciones socioambientales, registro sedimentario y agentes de depositación (Posada-Restrepo *et al.*, 2019). La interpretación del paleoambiente de estas estructuras podría aportar nuevos datos sobre la economía y la ecología asociada a los responsables de su construcción y aprovechamiento.

Las condiciones bióticas y abióticas dominantes en un espacio y tiempo pasado se conocen como paleoambientes (Cortizas, 2000). La historia biogeográfica de numerosos grupos de plantas y animales, así como la evolución climática hasta el presente puede elucidarse a través de análisis paleoecológicos que incluyen proxies químicos y biológicos (Palacios, 2011; Rull, 1990). La investigación paleoambiental pretende reconstruir la mayor cantidad de factores y parámetros disponibles, así como las condiciones ambientales de los procesos ocurridos en el pasado, el funcionamiento de los ecosistemas, los procesos de cambio natural y los inducidos por actividad antrópica (Cortizas, 2000). La datación de sedimento con  $^{14}\text{C}$  es útil en estudios paleoambientales para determinar la cronología e intensidad de los episodios de erosión y acreción (Cortizas, 2000; Blandon, 2002). Permite, además, inferir condiciones de los sistemas de drenaje local, *e.g.*, la edad de los canales de los antiguos humedales Mayas y la evidencia de sus últimos usos y tasas de sedimentación después de que entraron en desuso en Centroamérica fue determinada utilizando datación con  $^{14}\text{C}$  (Beach et al., 2019).

La evolución de estos paleoambientes es susceptible de ser reconstruida a partir del análisis de marcadores físicos, químicos o biológicos denominados “proxies”, que se preservan en el sedimento (Meyers, 1997). En la interpretación de paleoambientes es necesario considerar el sistema climático, la vegetación y la fauna del ambiente actual, así como la temporalidad de los procesos que lo han modificado y los proxies que registran dichos cambios en perfiles de suelo y sedimento (Cronin, 1999). Los proxies son indicadores indirectos de las condiciones ambientales del pasado y son útiles en la inferencia de temperatura, humedad, precipitación, salinidad, vegetación, composición atmosférica, entre otros (Prendergast *et al.*, 2017). A partir de la inferencia o interpretación de los proxies puede obtenerse registros de variabilidad climática entre decenios y milenios (Man, 2002). Entre los proxies más utilizados en la reconstrucción de paleoambientes continentales se encuentran el polen, esporas fósiles, conchas de moluscos, magnesio (Mg), plomo (Pb), hierro (Fe), aluminio (Al) y titanio (Ti) (Faegri & Iversen, 1989; Arboleda, 2018).

El contenido sedimentario de Fe, Al y Ti es proporcional a la precipitación (Haug *et al.*, 2001; Breuer *et al.*, 2013), ya que esta favorece la lixiviación de minerales y rocas mediante la intemperización química por carbonatación (Schelesinger & Bernhardt, 2013). En consecuencia, la variación vertical del contenido sedimentario de metales puede asociarse también a condiciones de oxidación-reducción, flujos de corriente y niveles de inundación (Velásquez, 2013). A su vez, los pulsos de inundación condicionan la ocurrencia de microfauna bentónica en el perfil sedimentario, por lo que los resultados a partir de proxies geoquímicos pueden ser enriquecidos mediante su correlación con la presencia de fósiles, *e.g.*, diatomeas, zooclastos, polen y conchas de moluscos (Masés-Solís, 2014).

Por su parte, el Cambio Climático es entendido como la variación del clima que ha ocurrido durante la historia del planeta (Caballero *et al.*, 2007). La evidencia acumulada sugiere que el clima global ahora está cambiando como resultado de las actividades humanas, principalmente aquellas que liberan gases de efecto invernadero como quema de combustibles fósiles (McMichael *et al.*, 2004). Uno de los cambios climáticos más notorios es el Calentamiento Global, que se define como la tendencia de incremento que ha mostrado la temperatura global durante los últimos 150 años. Este fenómeno de calentamiento es atribuible no solo a contaminación atmosférica, sino también a cambios en (i) la reflectividad de la superficie terrestre, (ii) la actividad volcánica, (iii) la órbita y

rotación de la tierra, (iv) la actividad solar, (v) tala de bosques, entre otros (Caballero *et al.*, 2007; Lourens, 2021).

En la región de Urabá se han documentado numerosos hallazgos arqueológicos, pero no se ha realizado una contextualización cronológica y paleoambiental de las estructuras arqueológicas de canales y camellones (Posada-Restrepo *et al.*, 2019). Las investigaciones paleoambientales relacionadas con estas estructuras nos permiten profundizar y comprender las dinámicas fluviales alrededor de estas estructuras precolombinas (Herrera, 2006) desde la época prehispánica hasta el presente. Estos estudios son referentes para la planeación de futuros proyectos, teniendo en cuenta que hoy en día la cuenca del río León todavía demanda medidas de mitigación de las inundaciones y de sistemas productivos más sostenibles y eficientes (Posada-Restrepo *et al.*, 2019).

## **2.Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Interpretar el registro sedimentario en un canal precolombino de la cuenca media del río León a través de proxies geoquímicos.

### **2.2 Objetivos específicos**

Analizar los cambios en los contenidos de Fe, Al y Ti, en el perfil sedimentario del sistema de canales y camellones de la cuenca media del Río León.

Interpretar posibles correlaciones entre los contenidos de Fe, Al y Ti según las dataciones con radiocarbono del perfil sedimentario del sistema de canales y camellones de la cuenca media del Río León.

### **3. Pregunta de investigación**

¿Cómo se relacionan los contenidos de Fe, Al y Ti con los pulsos de inundación en la cuenca media del río León según el registro sedimentario en un canal precolombino?

### **4. Hipótesis**

Si los paleoambientes del sistema de canales y camellones de la cuenca media del río León cambiaron sus niveles de inundación alternando periodos secos y periodos húmedos desde la época prehispánica hasta el presente, entonces los periodos húmedos corresponderán a los estratos con mayores contenidos de Fe, Al y Ti en comparación con los periodos secos. Lo anterior permitirá identificar, en cierta medida, cambios en patrones de intensidad de lluvias en periodos climáticos del pasado en comparación con el periodo cálido actual.

## 5. Metodología

### 5.1 Área de Estudio

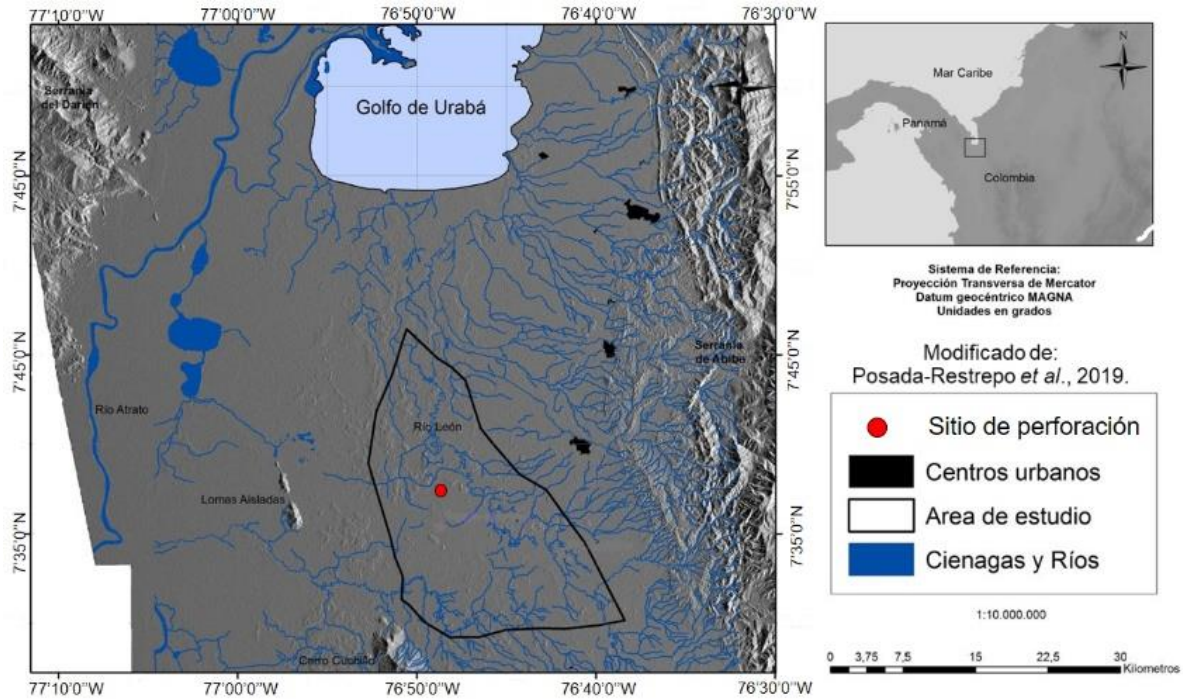
Esta investigación se realizó al sur del golfo de Urabá en la llanura de inundación del río León, cuenca media-baja. Esta es una zona plana en la que se encuentra el mayor número de canales y camellones precolombinos registrado hasta el momento en el Urabá Antioqueño. Esta planicie anegable se encuentra interrumpida por los cerros El Cuchillo y Lomas Aisladas, únicas elevaciones al interior de la llanura. El margen exterior de esta llanura lo constituyen la serranía del Darién al oeste y la serranía de Abibe al este (Figura 1).

La cuenca del río León nace en las estribaciones suroccidentales de la Serranía de Abibe al Norte de Mutatá en el departamento de Antioquia y desemboca en el Golfo de Urabá, en el municipio de Turbo. La cuenca se encuentra delimitada por las coordenadas planas Norte 1'376.481, Sur 1'300.129, Oeste 691.074,84 y Este 748.383, (Magna Sirgas Colombia, Origen Bogotá). En su recorrido convergen comunidades étnicas, campesinas y urbanas, que ejercen gran presión sobre el recurso hídrico debido al desarrollo de actividades domésticas y agrícolas entre las que se cuentan uso de agroquímicos, vertimiento de aguas residuales (Corpourabá, 2019) y pesca. Esta zona se ubica en la cota 8 m.s.n.m., presenta condiciones sumamente húmedas, régimen de precipitación unimodal de *ca.* 2.400 mm anuales y un único período seco entre enero y abril. La alta humedad aunada a una topografía plana, con pendientes <5 %, favorece la escorrentía y el flujo de sedimentos en la cuenca dado que los suelos permanecen saturados durante la mayor parte del año (Guzmán & Ceballos, 2001).

La geología de la cuenca es heterogénea dominado por rocas moderadamente blandas a moderadamente duras, posee suelos de origen aluvial y fluviotorrencial poco consolidados y afectados constantemente por la acción de los cauces principales y residuales pobremente cementados. La dinámica y el comportamiento de los materiales de la cuenca muestran una alta influencia de procesos de meteorización, erosión y socavación de cauces hacia la cuenca baja (Corpourabá, 2019).

**Figura 1**

*Localización del Área de estudio, el polígono corresponde a la zona de mayor concentración de las estructuras. (Modificado de Posada-Restrepo et al., 2019).*



## 5.2 Fase de campo

El sitio de la perforación se seleccionó luego de realizar dos visitas previas a la zona, en las que se evidenció un sistema de estructuras arqueológicas morfométricamente complejo. La mayoría de las estructuras arqueológicas presentes están asociadas directamente con el río León, entre las poblaciones de Nueva Colonia, Lomas Aisladas y Barranquillita, en el departamento de Antioquia. El canal perforado fue seleccionado debido a que presentaban un muy buen estado de conservación. Durante la excavación del canal, se recuperó un núcleo de suelo de 60cm de largo con el uso de sonda rusa y canaletas rectangulares cuya estratigrafía fue descrita en campo (Figura 2). Adicionalmente, se tomó una muestra a 100 cm de profundidad que correspondió con un cambio estratigráfico. El núcleo y la muestra adicional fueron sellados para evitar deformaciones, contaminación, oxidación, deshidratación o daños del material durante su transporte al laboratorio de la Sede de Ciencias del Mar de la Universidad de Antioquia. Las muestras fueron rotuladas indicando la localidad, fecha y profundidad de extracción.



**Figura 2**

*Corte de excavación inicial sobre las estructuras arqueológicas (a). Morfología de la secuencia en el perfil (b)*

**a**



**b**



**5.3 Fase de laboratorio**

El núcleo se cortó primero longitudinalmente para obtener dos testigos, uno para análisis radiocronológico y geoquímico y el otro para análisis biológico. El análisis priorizó las muestras provenientes de niveles con alta integridad estratigráfica y asociados a cambios de facies, *i.e.*, muestras sin alteraciones, permutaciones o retrabajamiento en estratos correspondientes a cambios en el régimen de depositación. Así, se extrajeron tres muestras de material vegetal del testigo a 41 y 100 cm de profundidad. Estas fueron rotuladas, embaladas en papel aluminio y enviadas a la Universidad de Arizona para realizar el análisis cronológico por medio de la técnica de radiocarbono (Accelerator Mass Spectrometry; AMS  $^{14}\text{C}$ ). La edad correspondiente al cm 11 fue inferida a partir del hallazgo de clavos del siglo XX enterrados a esta profundidad. Adicionalmente, se extrajeron nueve muestras del testigo a 1, 3, 5, 11, 17, 21, 41, 59 y 100 cm de profundidad, las cuales fueron enviadas al laboratorio del grupo de investigación GDCON de la Universidad de

Antioquia, para la determinación del contenido de Fe, Al y Ti, mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica tras digestión ácida (EPA3050B- SM3120 B 2017).

El testigo reservado para análisis biológico se subdividió verticalmente en 30 subunidades litológicas 2 cm, para la búsqueda de micromoluscos. Estas muestras se lavaron durante tres días para eliminar el exceso de materia orgánica. Luego, se secaron a 45°C durante 48 horas y se almacenaron en recipientes plásticos pequeños. Para la identificación de micromoluscos, se diluyó con agua destilada una pequeña cantidad de cada muestra en un vidrio reloj, luego con una pipeta Pasteur se tomó un poco de la muestra diluida, se puso en un portaobjetos, se cubrió con un cubreobjetos y se observó al microscopio en los objetivos de 4, 10 y 40X. Este procedimiento se repitió 4 veces con cada muestra, para un total de 120 observaciones.

#### **5.4 Análisis de datos**

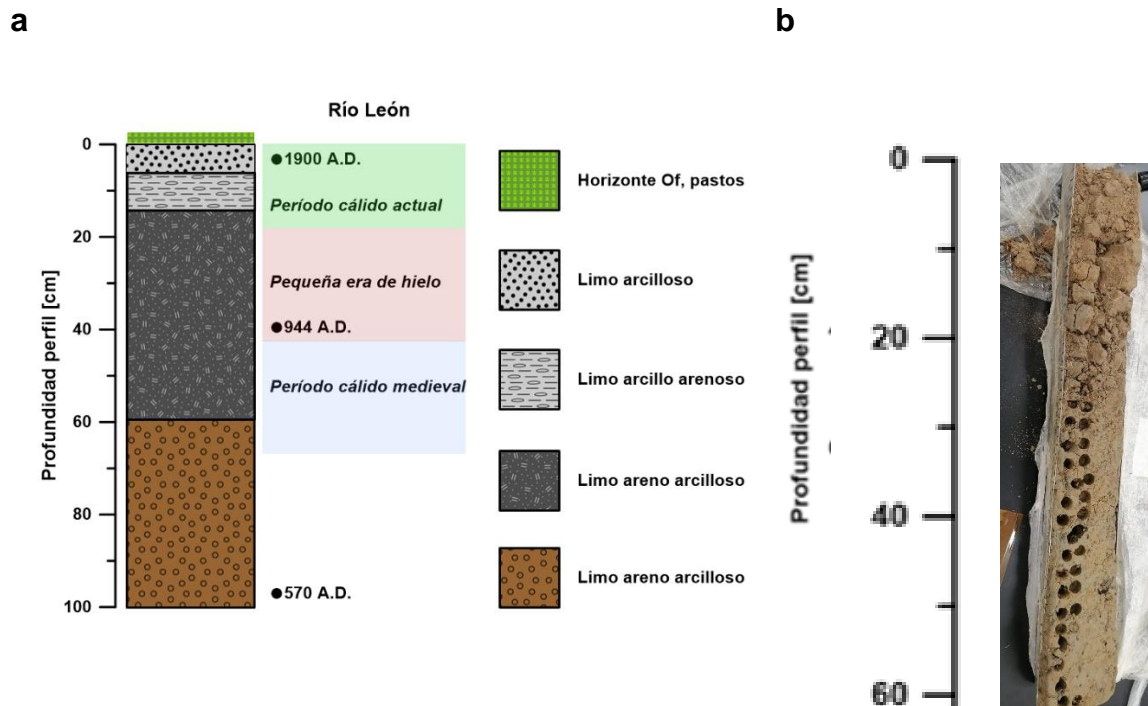
El análisis estadístico descriptivo de los proxies geoquímicos utilizados en la reconstrucción climática incluyó medidas de tendencia central, dispersión y forma. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación de estos proxies geoquímicos con las edades del sedimento, previa evaluación de la distribución de los datos con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Dado que una de las variables no cumplió con la normalidad ( $p < 0,05$ ), se usó el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar correlaciones estadísticamente significativas. Finalmente, se realizó la prueba U de Mann-Whitney para identificar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de los tres proxies geoquímicos por encima y por debajo de los 41 cm de profundidad de la perforación. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 25.

## 6. Resultados

El perfil litológico recuperado contiene suelo hidromórfico, correspondiente a sedimento fino de origen aluvial. La estratigrafía sugirió cambios temporales en los regímenes de depositación a 5, 17 y 60 cm, lo que configuró una secuencia de cuatro estratos modales (Figura 3). Sin embargo, la homogeneidad en la tendencia del material depositado desde la base hasta el techo del perfil podría interpretarse como uniformidad tanto en los agentes de depositación como en el comportamiento hidráulico del canal (Tabla 1). Adicionalmente, se observaron algunos restos de madera sin asociación con rizomas. El análisis microscópico de las muestras indicó ausencia de micromoluscos, diatomeas y otros microfósiles.

### Figura 3

*Estratigrafía del perfil litológico recuperado en la cuenca media del río León (a). ● Corresponde a edades del sedimento. Canaleta con material recuperado (b).*



**Tabla 1**

*Descripción e interpretación estratigráfica del perfil litológico recuperado en la cuenca media del río León. Modificado de Posada et. al., 2022.*

<b>Estrato (cm)</b>	<b>Pedología</b>	<b>Interpretación</b>
0-5	Horizonte Agu	Capa de sedimento pardo gris moteado, textura franca y baja porosidad distribuida homogéneamente sobre el canal. Fuertemente compactada con gran cantidad de materia orgánica. Esta unidad estratigráfica subyace los pastos de la superficie u horizonte Of.
5-15	Horizonte Cgu	Capa de sedimento gris moteado y textura franca distribuida homogéneamente sobre el canal. Ocurrencia de carbón vegetal y rasgos ocasionales de bioturbación por raíces. Su límite superior indicó una posible discordancia erosiva.
15-60	-	Capa de sedimento arcilloso gris oscuro correspondiente al material de relleno del canal. Presenta rasgos tubulares de bioturbación y abundantes grietas de desecación. Ocurrencia de carbón vegetal. No corresponde a un horizonte pedológico porque no posee extensión lateral.
60-100	Horizonte Cgu de desarrollo incipiente	Capa de sedimento arcillo limoso pardo amarillo y moteado denso. Ocurrencia de carbón y nódulos ovoides de óxidos Fe/Mn abundantes y materia orgánica.

Los resultados del análisis cronológico de dos muestras de carbón vegetal mostraron que el perfil contiene *ca.* 1500 años de historia de depositación sedimentaria, entre año 570 y 2020 A.D (Tabla 2). Esta historia abarca tres periodos ampliamente estudiados, *viz.*, periodo cálido medieval, pequeña era de hielo y periodo cálido actual en los que las condiciones ambientales cambiaron de cálidas húmedas a frías y áridas.

**Tabla 2**

*Edades del perfil recuperado en la cuenca media del río León determinadas a partir del análisis de 14C de material vegetal y otros hallazgos.*

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Año calendario (A.D.)</b>
10	<i>ca.</i> 1900*
40	944
95	570

\*La edad correspondiente a este estrato fue inferida a partir del hallazgo de clavos del siglo XX enterrados a esta profundidad.

### 6.1 Análisis descriptivo

De los tres proxies geoquímicos utilizados para inferir los patrones de humedad y sequía asociados a las estructuras prehispánicas de canales y camellones del Urabá Antioqueño, el Fe presentó el mayor contenido ( $28,69 \pm 2,91$  g/kg), asimetría negativa (-0,42) y curtosis leptocúrtica (-1,62); seguido del Al ( $19,38 \pm 0,97$  g/kg), asimetría positiva (0,42) y curtosis leptocúrtica (-0,71) (Tabla 3). Finalmente, el Ti fue el proxy de menor contenido ( $385,93 \pm 81,82$  mg/kg), asimetría positiva (1,53) y curtosis platocúrtica (1,51).

**Tabla 3**

*Análisis descriptivo de los proxies geoquímicos del núcleo extraído del sistema de canales y camellones del Urabá Antioqueño.*

Proxies	n	Media	DE*	Varianza	Mínimo	Máximo	Rango	Asimetría	Curtosis
Fe (g/kg)	9	28,69	2,91	76,43	16,1	38,9	22,8	-0,42	-1,62
Al (g/kg)	9	19,38	0,98	8,56	15,3	24,3	9,0	0,42	-0,71
Ti (mg/kg)	9	385,93	81,82	60247,82	169,0	900,4	731,4	1,53	1,51

\*DE= Desviación estándar

### 6.2 Análisis de correlación

Debido a que el Ti no presentó una distribución normal ( $p = 0,020$ ), para el análisis de correlación se utilizó el análisis no paramétrico de Spearman. Las correlaciones fueron altas (>80%) y positivas entre los proxies Fe, Al y Ti. En contraste, las correlaciones entre proxies y las edades fueron negativas. Todas las asociaciones fueron estadísticamente significativas y su significancia fue entre alta y muy alta (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Coefficientes de correlación de Spearman entre proxies geoquímicos y las edades del perfil extraído del sistema de canales y camellones en la cuenca media del río León*

Variable	Fe	Al	Ti	Edades
Fe	1	0,84*	0,93**	-0,85*
Al	0,84*	1	0,94**	-0,89*
Ti	0,93**	0,94**	1	-0,95**
Edades	-0,85*	-0,89*	-0,95**	1

\*Rho  $\leq 0,01$  (correlación altamente significativa)

\*\* Rho  $\leq 0,001$  (correlación altísimamente significativa)

### 6.3 Contenido sedimentario

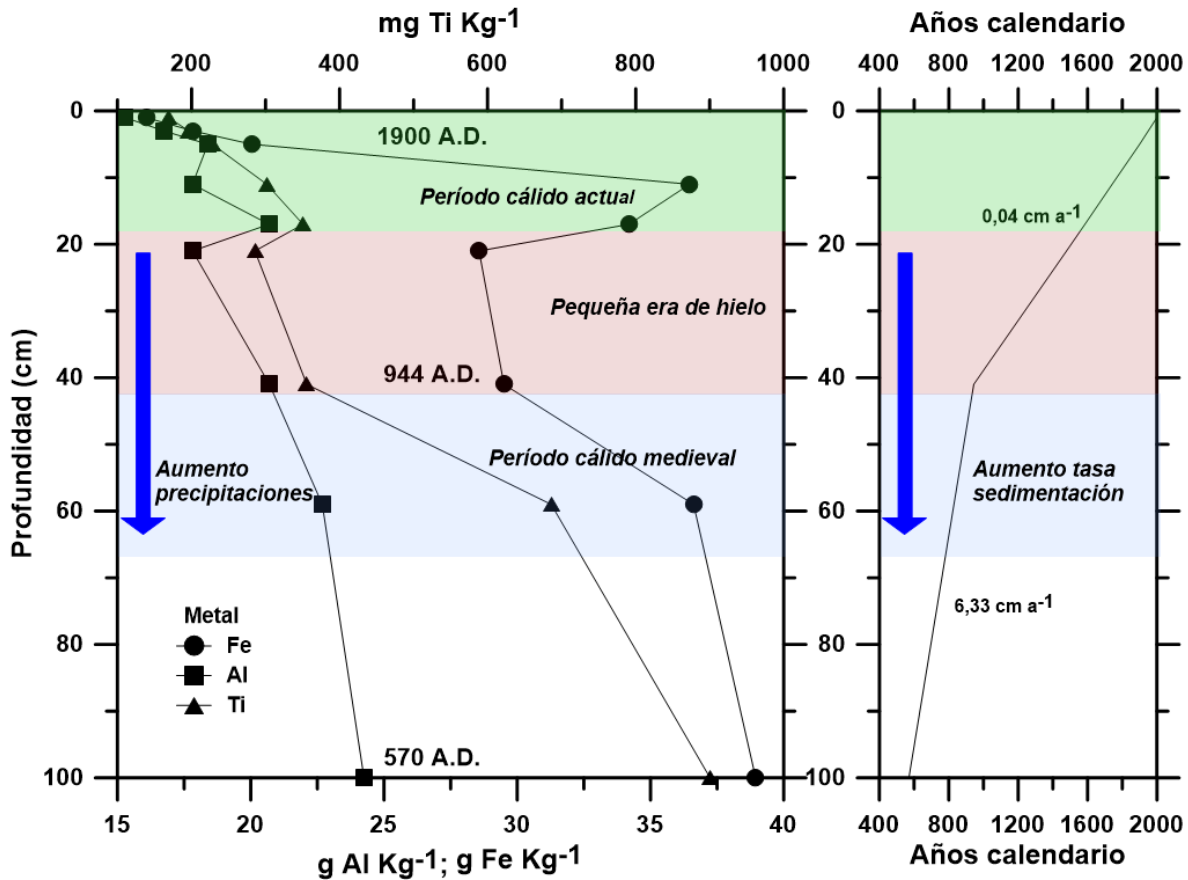
En general, el contenido de los tres proxies geoquímicos disminuyó en una tendencia de largo plazo desde la base del núcleo hasta el techo, lo que sugiere una disminución de la precipitación hacia el

presente (Figura 4). La alta correlación significativa ( $Rho \leq 0,01$ ) es evidente al observar que el comportamiento de los perfiles del contenido de Fe, Al y Ti coincidió en la mayoría de picos y valles. De conformidad con lo anterior, se presentó un aumento considerable en la tasa de sedimentación con la profundidad, desde 0,04 cm/año entre el año 2000 y 944 A.D. hasta 6,33 cm/año entre el año 944 y 570 A.D. (Base).

El mayor contenido de los tres proxies geoquímicos fue determinado en la base del perfil, a 100 cm de profundidad (570 A.D.), alcanzando 38,9 g Fe/kg; 24,3 g Al/kg y 900,4 mg Ti/kg. Este contenido disminuyó consistentemente entre 100 y 21 cm de profundidad, donde se observó un mínimo local asociado a la pequeña era de hielo. La disminución del contenido de proxies durante el periodo cálido medieval, en el año 944 A.D. a 41cm, en relación con el correspondiente al de la base del perfil fue 24% para Fe, 15% para Al y 61% para Ti. El contenido de Al y Ti aumentó levemente después de la pequeña era de hielo al inicio del periodo cálido actual entre 21 y 17 cm. El pico del contenido de Fe en este periodo se presentó más cerca al techo, a 11 cm, probablemente debido a efectos posdeposicionales de oxidación-reducción. Dado que el material de relleno del canal está presente desde la profundidad de los 15 cm hasta la base del perfil, el comportamiento del contenido de los proxies en el techo debe analizarse con cuidado de cara a la reconstrucción de las condiciones climáticas durante el periodo cálido actual. Además de esto, El contenido de los proxies en el techo está sujeto a transferencias a otros compartimentos ambientales, a través de la biota y el lavado por escorrentía.

**Figura 4**

Contenido sedimentario de proxies geoquímicos en el perfil litológico del núcleo extraído del sistema de canales y camellones del Urabá Antioqueño con aproximación de las tasas de sedimentación.



#### 6.4 Comparación de proxies geoquímicos

La prueba U de Mann-Whitney indicó que el contenido de Al y Ti en los estratos entre 0 y 41 cm de profundidad es estadísticamente más bajo al correspondiente en los estratos subyacentes ( $p < 0,05$ ). Por su parte, el Fe no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los dos niveles de profundidad analizados ( $p = 0,07$ ; Tabla 3).

**Tabla 5.**

Prueba U de Mann-Whitney de las concentraciones de los proxies geoquímicos.

Variable	Fe	Al	Ti
U de Mann-Whitney	2,000	0,500	0,000
Z	-1,807	-2,213	-2,324
Sig. asintótica(bilateral)	0,071	0,027	0,020



## 7. Discusión

### 7.1 Características y propiedades de los proxies geoquímicos

El Fe, Al y Ti son elementos detríticos que por medio de escorrentía se depositan en los sedimentos de cuencas, lagos y canales (Peterson & Haug, 2006; Bertrand *et al.*, 2008). Por esta razón, estos son metales ampliamente usados en las reconstrucciones paleoambientales, dado que proporcionan una medida directa de la lluvia y la escorrentía (Haug *et al.*, 2001; Breuer *et al.* 2013). En este trabajo, estos metales proporcionan información sobre los episodios de inundación y sequía asociados un canal precolombino de la cuenca media del río León.

El Fe es un elemento relativamente soluble, propiedad que lo hace móvil bajo condiciones regionales del suelo (Breuer *et al.* 2013), las variaciones del Fe por sí solas podrían quizás atribuirse a cambios redox en el sedimento. En cambio, Ti es insensible a variaciones redox en el medio ambiente, propiedad que lo hace relativamente inmóvil (Haug *et al.*, 2001; Turu y Bordonau, 2013). El Al también es relativamente inmóvil, pero puede transportarse parcialmente en el agua con un valor de *pH* inferior a cuatro, cuando la solución adquiere un carácter muy ácido (Breuer *et al.* 2013). Estas propiedades son las que hacen que en los núcleos se encuentre Fe con mayor concentración que Aluminio y Titanio.

### 7.2 Paleoambiente asociado a estas estructuras

Posada-Restrepo *et al.* (2019) en el reporte preliminar realizado a las estructuras de canales y camellones prehispánicos del golfo de Urabá menciona que a pesar de la falta de datos paleoambientales locales, Bush & Colinvaux (1994) y Muñoz *et al.* (2017) no reconocen cambios climáticos significativos en la región entre los siglos X al XVI, esto sucede porque estos autores no realizan un análisis paleoambiental en escalas espacio-temporales de pequeña magnitud, lo que genera que se pase por alto información puntual. No obstante, Muñoz *et al.* (2017) reporta un rápido descenso en la precipitación que inicia hace aproximadamente 2500 años, y se mantiene constante hasta el presente. Este patrón también se observa en las concentraciones de los metales empleados para la reconstrucción climática de esta investigación (Figura 4).



Aunque este patrón es provocado por una disminución de la actividad en las bandas de El Niño Southern Oscillation (ENSO) durante 500 años, este se mantiene constante hasta el presente (Muñoz *et al.*, 2017). Pero, pese a esto es difícil saber con certeza la implicancia de esta continuidad, debido a que después de este periodo de tiempo el impacto humano ha generado perturbaciones en el registro sedimentario (Bush & Colinvaux, 1994; Peterson & Haug, 2005; Herrera, 2006; Beach *et al.*, 2019). No obstante, esto se puede interpretar como un periodo seco o menos húmedo que inicia en el siglo IV antes de la presente era, y se mantiene constante hasta el periodo actual (Muñoz *et al.*, 2017).

A partir de la datación realizada por medio de la técnica de radiocarbono (AMS  $^{14}\text{C}$ ), a las profundidades 11, 41 y 100cm, se realizó un modelo de edades para las profundidades restantes (1,3,5,17,21 y 59cm), a través de un modelo lineal generalizado. Las concentraciones de los metales entre años 830-944 A.D. y 944-1478 A.D. (Figura 2) poseen una buena relación con los periodos Cálido Medieval (Medieval Warm Period, MWP) entre 800-1300 A.D. y un periodo de enfriamiento generalizado, pero altamente fluctuante del clima conocido como la Pequeña Edad de Hielo (Little Ice Age, LIA) entre ~1300-1850 A.D. en localidades seleccionadas de la cuenca Caribe (Peterson & Haug, 2005; Castro & Martínez, 2009; Castañeda, 2013; Giraldo-Giraldo *et al.*, 2017). A pesar de la oscilación aparente cálido-frío entre el MWP y la LIA se debe tener en cuenta que estos eventos no fueron realmente cambios climáticos continuos, sino variaciones a pequeñas escalas espacio-temporales (Grove, 2001). Esto podría entenderse como fluctuaciones climático-espaciales que sucedieron en estos periodos climáticos para cada región o lugar en particular.

Las estructuras prehispánicas más cercanas a las estudiadas en esta investigación con más información paleoclimática son las de la Depresión Momposina. Las condiciones paleoclimáticas asociadas a estas estructuras en una reconstrucción de aproximadamente 21000 años reflejan un ambiente más seco en el clima actual (Herrera *et al.*, 2001; Herrera, 2006). Esta tendencia en las condiciones paleoclimáticas ha sido confirmada en las estructuras prehispánicas del golfo de Urabá. En la figura 2 se puede observar que a medida que disminuye la profundidad y las edades de los sedimentos desde el año 1700 A.D. hasta la actualidad, disminuyen las concentraciones de los metales, lo que se puede interpretar como una disminución en la precipitación (clima cálido) a medida que pasa el tiempo en esta zona.

Debido a su ubicación y complejidad geográfica, los trópicos no responden pasivamente al cambio climático, sino que es allí donde posiblemente se direccionan las tendencias climáticas globales (Haug *et al.*, 2001; Vecchi *et al.*, 2008). Las modificaciones prehispánicas de las tierras bajas anegables en sistemas de canales y camellones son evidencias del impacto antropogénico en los humedales y bosques tropicales (Beach *et al.*, 2019) que han influenciado el cambio climático de estas regiones y que pueden ser promotores del calentamiento global registrado en los cambios de concentraciones de los metales en los registros sedimentarios (Figura 2; Bayona *et al.*, 2010; Díaz-Asencio *et al.*, 2016).

## **8. Conclusión**

El registro geoquímico del paleoambiente asociado a las estructuras prehispánicas de canales y camellones en la cuenca media del río León parece iniciar con un periodo húmedo con altos niveles de precipitación y escorrentía desde el año 570 A.D. que ha disminuido con el tiempo. Este registro además indicó una aparente disminución en la intensidad de precipitación y escorrentía durante el periodo cálido medieval entre 830-944 A.D. y la pequeña edad de hielo entre 944-1478 A.D. A partir del año 1700 A.D. y hasta la actualidad, el paleoambiente asociado a estas estructuras podría estar influenciado por el periodo cálido actual, durante el cual la intensidad de la precipitación y la escorrentía aumentó en relación con la pequeña edad de hielo, pero se alcanzan los niveles más bajos de proxies debido a factores geoquímicos e influencia antrópica.

## **9. Recomendaciones**

- Es importante tener en cuenta que el análisis del paleoambiente asociado a estas estructuras prehispánicas ha sido influenciado tanto por las comunidades que las crearon como por las que habitan actualmente esta zona. Dado que el impacto antrópico es un tensor que genera perturbaciones en el registro sedimentario, se recomienda incluir marcadores de densidad poblacional y cambios de uso del suelo en estudios futuros.
- Para realizar un análisis más profundo del paleoambiente, se recomienda aumentar la resolución de las determinaciones del contenido y proxies en el perfil estratigráfico y a la vez incluir proxies biológicos como diatomeas y polen.
- Realizar una perforación en el río, en un sitio que no haya sido alterado por dragado para análisis geoquímico y comparar con los actuales resultados.

## Referencias

- Arboleda Oviedo, D. M. (2018). Reconstrucción de la vegetación, clima y ambiente sedimentario en el norte de la cordillera Oriental de Colombia durante el Holoceno, a partir de un análisis multi-proxy. Maestría en medio ambiente y desarrollo. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Bayona, G., García, Y. C., & Sarmiento, H. R. (2010) CO<sub>2</sub> y radiación solar: ¿Causantes del calentamiento global? *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132):339-346.
- Beach, T., Luzzadder-Beach, S., Krause, S., Guderjan, T., Valdez, F., Fernandez-Diaz, J. C., ... & Doyle, C. (2019). Ancient Maya wetland fields revealed under tropical forest canopy from laser scanning and multiproxy evidence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(43):21469-21477.
- Bertrand, S., Charlet, F., Charlier, B., Renson, V., & Fagel, N. (2008). Climate variability of southern Chile since the Last Glacial Maximum: a continuous sedimentological record from Lago Puyehue (40 S). *Journal of Paleolimnology*, 39(2):179-195.
- Blandón Montes, A. (2002). Principios de estratigrafía. *Facultad de Minas*. Universidad Nacional de Colombia: Facultad de Minas. <https://hdl.handle.net/11537/25429>
- Bray, W. (1990). Cruzando el Tapón del Darién: Una visión de la arqueología del Istmo desde la perspectiva colombiana. *Boletín Museo Del Oro*, (29):3-51.
- Breuer, S., Kilian, R., Baeza, O., Lamy, F., & Arz, H. (2013). Holocene denudation rates from the superhumid southernmost Chilean Patagonian Andes (53 S) deduced from lake sediment budgets. *Geomorphology*, 187:135-152.
- Bush, M. B., & Colinvaux, P. A. (1994). Tropical forest disturbance: paleoecological records from Darien, Panama. *Ecology*, 75(6):1761-1768.
- 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*, 8(10):1-12.
- Castañeda Riascos, I. M. (2013). Paleoecología de alta resolución del Holoceno (11000 Años), en el Páramo de Belmira, Antioquia (Colombia). Maestría en geomorfología y suelos con énfasis en la línea de investigación en Palinología y Paleoecología. *Facultad de Ciencias*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Castro, Y. C. G., & Martínez, J. I. (2009). El periodo cálido medieval y la pequeña edad de hielo en el Neotrópico. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 33(129):477-490.
- Corpourabá (2019). Ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río León SZH (1201). 641 p.
- Cortizas, A. M. (2000). La reconstrucción de paleoambientes cuaternarios: ideas, ejemplos y una síntesis de la evolución del Holoceno en el NW de la Península Ibérica. *Estudios do Quaternário/Quaternary Studies*, (3):31-41.
- Cronin, T. M. (1999). Principles of paleoclimatology. *Columbia University Press*. 560p.
- Díaz-Asencio, M., Padilla, E. A., & Hernández, C. A. (2016). Sedimentos como archivos recientes de los cambios globales, aplicaciones en el litoral de Campeche. *Jaina. Boletín Informativo*, 27(2):37-45.

- Faegri, K., & Iversen, J. (1989). Textbook of Pollen Analysis, 4th ed. *John Wiley & Sons, Chichester*. 328p.
  - Giraldo-Giraldo, M. J., Velásquez-Ruiz, C. A., & Pardo-Trujillo, A. (2018). Late-holocene pollen-based paleoenvironmental reconstruction of the el Triunfo wetland, los Nevados National Park (Central Cordillera of Colombia). *The Holocene*, 28(2):183-194.
  - Grove, J. M. (2001). The initiation of the " Little Ice Age" in regions round the North Atlantic. *Climatic change*, 48(1):53-82.
  - Guzmán, H. & Ceballos, J. (2001). La difluencia del río León hacia el caño Tumaradó. Región de Urabá. Medellín: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. p. 19.
  - Haug, G. H., Hughen, K. A., Sigman, D. M., Peterson, L. C., & Rohl, U. (2001). Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science*, 293(5533), 1304-1308
  - Helms, M. (1979). Ancient Panama: Chiefs in Search of Power. *Austin: University of Texas Press*. 244p.
  - Herrera, L. F. (2006). Paleoecología en la depresión momposina. 21.000 años de cambios ambientales. En: Valdéz, F. (ed.). *Agricultura ancestral camellones y albarradas. Contexto social, usos y retos del pasado y del presente*. Instituto Francés de Estudios Andinos, Institut de Recherche pour le développement; Centre National de la Recherche scientifique; Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (Ecuador), Banco Central del Ecuador, Abya Yala y Université Paris 1, Quito, pp. 227-240.
  - Herrera, L. F., Sarmiento, G., Romero, F., Botero, P. J., & Berrío, J. C. (2001). Evolución Ambiental de la Depresión Momposina (Colombia) desde el Pleistoceno tardío a los paisajes actuales. *Geología Colombiana*, 26:95-121.
  - Lourens, L. J. (2021). The variation of the Earth's movements (orbital, tilt, and precession) and climate change. In *Climate change (pp. 583-606)*. Elsevier.
  - Mann, M. E. (2002). The value of multiple proxies. *Science*, 297(5586):1481-1482.
  - Masés Solís, M. G. (2014). La paleoclimatología como herramienta de la biogeografía. *Ciencia y Mar*, (54):53-57.
  - McMichael AJ, Campbell-Lendrum D, Kovats S, Edwards S, Wilkinson P, Wilson T, Nicholls R, Hales S, Tanser F, LeSueur D, Schlesinger M, Andronova N. (2004). Global climate change. En: Ezzati M, Lopez A, Rodgers A, Murray C (eds) *Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease due to selected major risk factors*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, pp 1543–1649
  - Meyers, P. A. (1997). Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic geochemistry*, 27(5-6):213-250
  - 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.
- Palacios, L. P. (2011). Cambios en la vegetación y en el clima en áreas estuarinas del norte del caribe colombiano. Maestría en Ciencias - Biología con énfasis en la línea de investigación en *Palinología y Paleoecología*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- Peterson, L. C., & Haug, G. H. (2006). Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234(1):97-113.
- Plazas, C., van Der Hammen, T. Botero, P., Sáenz, J., Archila, S. (1988). Cambios ambientales y desarrollo cultural en el bajo río San Jorge. *Boletín del Museo del Oro*. 20: 55-88.
- Posada-Restrepo, W. A., Cadena-Duarte, B., González-Severiche, C., & Arroyave-Flórez, E. (2019). El sistema de canales y camellones prehispánico del golfo de Urabá, noroccidente de Colombia. Un reporte arqueológico y geográfico preliminar. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(169):628-637.
- Posada-Restrepo, W. A., Cadena-Duarte, B., Castañeda, I. Rúa, A., Grajales, H., Ramos, J., rincón, E., Berrío, E., Gonzalez, S., Sánchez, A., Arroyave, E., Gómez, J., Mejía, X., Álvarez, J. (2022). Paleoambientes y estructuras hidráulicas en la cuenca del río León: un estudio sobre estrategias adaptativas y desarrollos territoriales en el Urabá prehispánico. Autorización de Intervención Arqueológica N° 8202. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Grupo de Investigación y Gestión del Patrimonio –GIGP. Departamento de Antropología. Facultad de Ciencias Sociales y Humanas. Universidad de Antioquia. Medellín. 154p.
- Prendergast, A. L., Versteegh, E. A. A., & Schöne, B. R. (2017). New research on the development of high-resolution palaeoenvironmental proxies from geochemical properties of biogenic carbonates. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 484:1-6
- Reichel-Dolmatoff, G. (1997). Arqueología de Colombia. *Bogotá: Presidencia de la República*. p. 314
- Rull, V. (1990). Quaternary palaeoecology and ecological theory. *Orsis: organismes i sistemes*, 5:91-111.
- Schelesinger W, Bernhardt E. (2013) Biogeochemistry: an analysis of global change. 3<sup>rd</sup> edition, *Oxford, UK. Elsevier. New York*
- Turu, V., & Bordonau, J. (2013). Estudio geoquímico de los sedimentos glaciolacustres de La Massana y Ordino (Andorra, Pirineos Orientales): Influjo sedimentario entre lagos de obturación yuxtaglaciaria e interpretación paleoambiental. En: Baena R, Fernández JJ, Guerrero I, (eds). *El Cuaternario Ibérico: Investigación en el siglo XXI. Asociación Española para el Estudio del Cuaternario & Grupo do Trabalho português para ou Estudo do Quaternário (AEQUA-GTPEQ)*, Sevilla–La Rinconada, Spain, 204-208.
- Velásquez Montoya, R. E. (2013). Paleoecología de alta resolución del final de la última glaciación y la transición al Holoceno en el Páramo de Belmira (Antioquia). Maestría en medio ambiente y desarrollo. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia
- Vecchi, G. A., Clement, A., & Soden, B. J. (2008). Examining the tropical Pacific's response to global warming. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 89(9):81-83.