# VERDE FÓSIL

*Un viaje biológico a través de la paleobotánica*



ALIANZA BIOFILIA

Voces para la conservación de la biodiversidad

Instituto amazónico de investigaciones científicas SINCHI · Instituto Humboldt Colombia · Alianza Bioversity & CIAT · Jardín Botánico de Cartagena "Guillermo Piñeres" · Universidad EAFIT · UPB Universidad Pontificia Bolivariana · Universidad de los Andes · parque explora

# VERDE FÓSIL

## *Un viaje biológico a través de la paleobotánica*

**Verde Fósil** es un libro divulgativo no especializado, creado con el objetivo de compartir una parte de la historia paleobotánica de Colombia con los apasionados por los fósiles, las plantas y los bosques. Aquí se describen algunos de los trabajos en los que han participado investigadores asociados y/o colaboradores de la Universidad EAFIT.

Este es un producto desarrollado entre 2024 y 2025, que hace parte de los entregables realizados por los jóvenes investigadores de la Universidad EAFIT para la Alianza Biofilia, la Red de Museo de Biodiversidad de Colombia.

El contenido de Verde Fósil puede ser compartido y adaptado, **siempre que sea con fines no comerciales, se otorgue el debido reconocimiento a los autores y se licencien las nuevas creaciones derivadas bajo las mismas condiciones.**

BY NC SA

**De la misma manera, en caso de que algún autor del material bibliográfico o visual compartido en este libro tenga un reclamo o comentario, puede comunicarse a la dirección de correo electrónico spatinob@eafit.edu.co.**

**Créditos editoriales**

**Sebastian Patiño-Baena**
Jóven investigador / Biólogo / Grupo de Investigación Biodiversidad, Evolución y Conservación de la Universidad EAFIT

**Camila Martínez Aguillón**
Tutora de investigación / Ph.D en Biología de Plantas / Grupo de Investigación Biodiversidad, Evolución y Conservación de la Universidad EAFIT

**Diana Karen Pérez-Lara**
Asesora de investigación / Estudiante de doctorado / Universidad EAFIT

**Liliana Londoño Ortíz**
Asesora de investigación / Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales

ALIANZA BIOFILIA

Voces para la conservación de la biodiversidad

# VERDE FÓSIL

## *Contenido*




**Capítulo 1: Conceptos básicos de la paleobotánica**

Introducción: pág 2 - 3

Fosilización en plantas: pág 4 - 5





**Capítulo 2: Las evidencias de los bosques**

Parte 1, las hojas: pág 6 - 12

Parte 2, el polen: pág 13 - 14

Parte 3, la madera: pag 15 - 18

Parte 4, flores y frutos: pág 19 - 20





**Capítulo 3: Colombia a través de la paleobotánica**

Introducción: pág 21

Formación Guaduas: pág 22

Formación Cerrejón: pág 23 - 25

Formación Bogotá: pág 26

Formación Esmeraldas: pág 27

Formación Amagá: pág 28

La Tatacoa: pág 29 - 30





**Capítulo 4: El futuro de la paleobotánica colombiana**

El contexto actual: pág 31

El futuro: pág 32

Comentarios finales: pág 33



ALIANZA BIOFILIA

Voces para la conservación de la biodiversidad

# UNA BREVE INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, hemos escuchado sobre la existencia de seres prehistóricos que habitaron nuestro planeta durante millones de años. Se nos ha dicho que estos seres fueron nuestros ancestros, que la vida que surgió en el agua, evolucionó hasta desarrollar pelaje y extremidades, y que en algún momento estos organismos coexistieron con los dinosaurios, los ancestros de las aves actuales.

Históricamente, esta narrativa acerca de las eras geológicas pasadas ha girado en torno a la vida animal en la tierra, es por ello que hoy en día conocemos firmemente que existieron insectos gigantes durante el carbonífero, y que cuando los dinosaurios se extinguieron, fueron los mamíferos los que se encargaron de dominar los ecosistemas terrestres.

El punto de vista anterior nos ha alejado de reconocer y aprender acerca de algunos de los seres vivos que han habitado y colonizado el planeta durante millones de años: **las plantas.** Como ya lo sabemos, estas han jugado un papel muy importante para el desarrollo de la vida en la tierra, pues construyeron las condiciones atmosféricas necesarias para que existieran seres que respiraran oxígeno fuera de los mares prehistóricos.

Dentro de la gran obra de teatro que es la historia geológica de la tierra, las plantas han trabajado tanto en la puesta en escena como en la actuación, pues se han encargado de construir el escenario en donde se desarrolla gran parte de la obra (los ecosistemas terrestres) y también se han destacado como grandes actrices, participando de escenas fundamentales como la fotosíntesis, la herbívora, la simbiosis, entre otras.

Este es un libro infográfico enfocado en contar la historia desde la perspectiva de las plantas, inspirado por *Hace Tiempo*, obra paleontológica creada por el Instituto Alexander von Humboldt y el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Aquí, hablaremos no solo de cómo se estudian los fósiles de las plantas, sino que también viajaremos en el tiempo y aprenderemos acerca de los ecosistemas terrestres prehistóricos que se desarrollaron en algunas de las zonas del país, y cuya evidencia hoy en día se encuentra exhibida en la colección paleobotánica de la Universidad EAFIT.

La construcción de este documento fue gracias a la alianza BIOFILIA, una iniciativa para la conservación de la biodiversidad de Colombia a través de la divulgación científica, que conecta a distintas instituciones colombianas para la construcción de la primera red de museos de biodiversidad en Colombia, y que es financiada con recursos de asignación para la ciencia, tecnología e innovación del Sistema General de Regalías.

ALIANZA BIOFILIA
Voces para la conservación de la biodiversidad



# ESTUDIANDO LOS BOSQUES FÓSILES:
# LA PALEOBOTÁNICA



La paleobotánica es la ciencia que estudia toda aquella **evidencia de vida proveniente de las plantas dentro del registro fósil.**



Estudiar las estructuras de las plantas fósiles permite a los investigadores hacer hipótesis acerca de **cómo eran los ecosistemas del pasado.**



Foto por
Daniela Carvalho

**Las plantas fósiles pueden ser comparadas con especies actuales para determinar su identidad** y entender cómo han evolucionado las familias de plantas a lo largo del tiempo.

Entender las especies que conformaban los bosques del pasado, el ambiente en el que se desarrollaron y la evolución de los ecosistemas, ayuda a los paleobotánicos **predecir cómo se van a comportar estos a futuro, en un escenario de cambio climático.**



Foto por
Daniela Carvalho



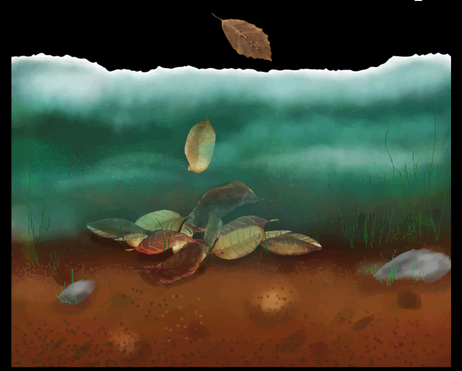
ALIANZA BIOFILIA
Voces para la conservación de la biodiversidad

# LA FOSILIZACIÓN
# ¿CÓMO SUCEDE?

Los fósiles son ventanas al pasado. Su existencia no es casualidad, pues es el resultado de un proceso extraordinario que depende de condiciones específicas y de la acción paciente de la naturaleza.

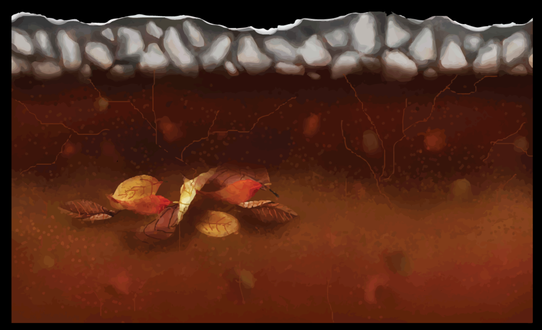
**Factores como la geología, la hidrología y el clima desempeñan un papel clave en la formación de un fósil.** Para que su preservación sea posible durante millones de años, estos elementos deben alinearse de manera precisa. Solo entonces, con el tiempo, el fósil emergerá a la superficie, listo para revelar su historia a quienes lo estudien.

1



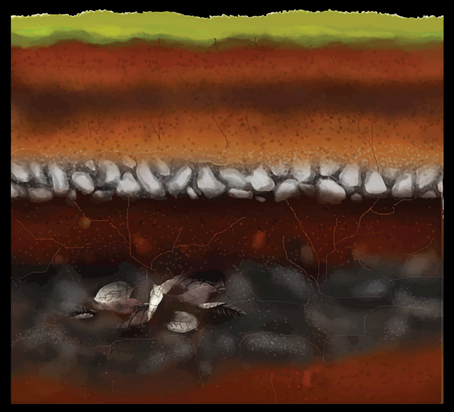
**Los restos biológicos se depositan en áreas donde se acumula agua, quedando gradualmente cubiertos por sedimentos**. Este proceso ocurre especialmente en cuerpos de agua como **ríos o lagos**, donde las inundaciones o el aumento del caudal facilitan su enterramiento.

2



A medida en que pasa el tiempo y se acumulan las capas de sedimentos sobre los restos, **estos se van enterrando.**

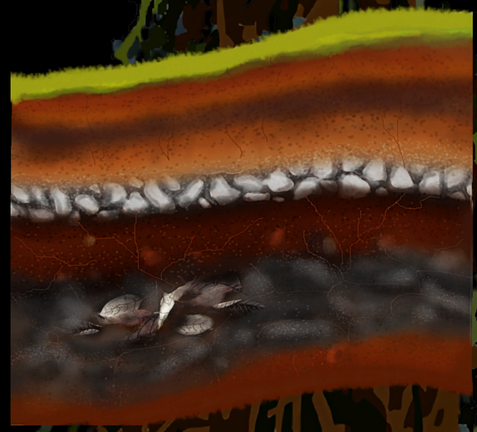
3



La presión y temperatura van modificando los restos enterrados, **transformándolos en roca**, al igual que los sedimentos circundantes

La geología del planeta, expresada a través de fuerzas tectónicas, **levanta la roca** en la que se encuentra almacenado el fósil, **permitiendo que llegue cerca de la superficie**

4



5

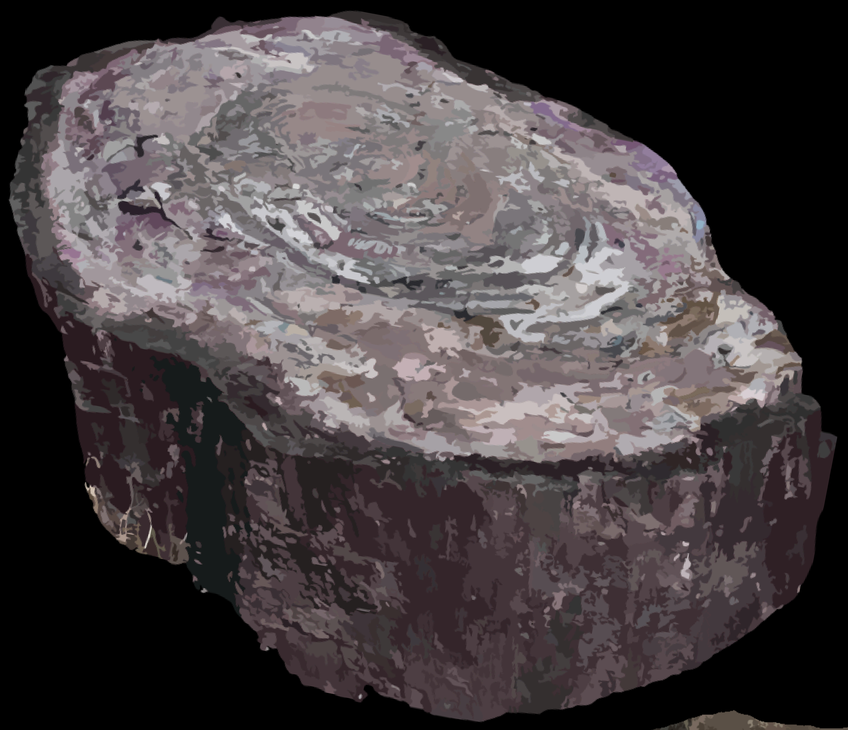
**La erosión** causada por variables ambientales como la temperatura, la lluvia, el viento y los deslizamientos de tierra, **deja expuesto al fósil en la superficie**, listo para ser estudiado.



4

ALIANZA BIOFILIA
Voces para la conservación de la biodiversidad

# LA FOSILIZACIÓN EN LAS PLANTAS



Al igual que los animales, las plantas tienen la capacidad de fosilizarse, dejando así evidencias de algunas de sus estructuras: **Hojas, flores, frutos, semillas, maderas, incluso polen.**

A pesar de ser estructuras que podemos encontrar en un mismo individuo, no todas se preservan en el tiempo de la misma manera**. La formación de los fósiles dependerá de su propia composición biológica, pero también del ambiente en donde sus restos se hayan depositado.**

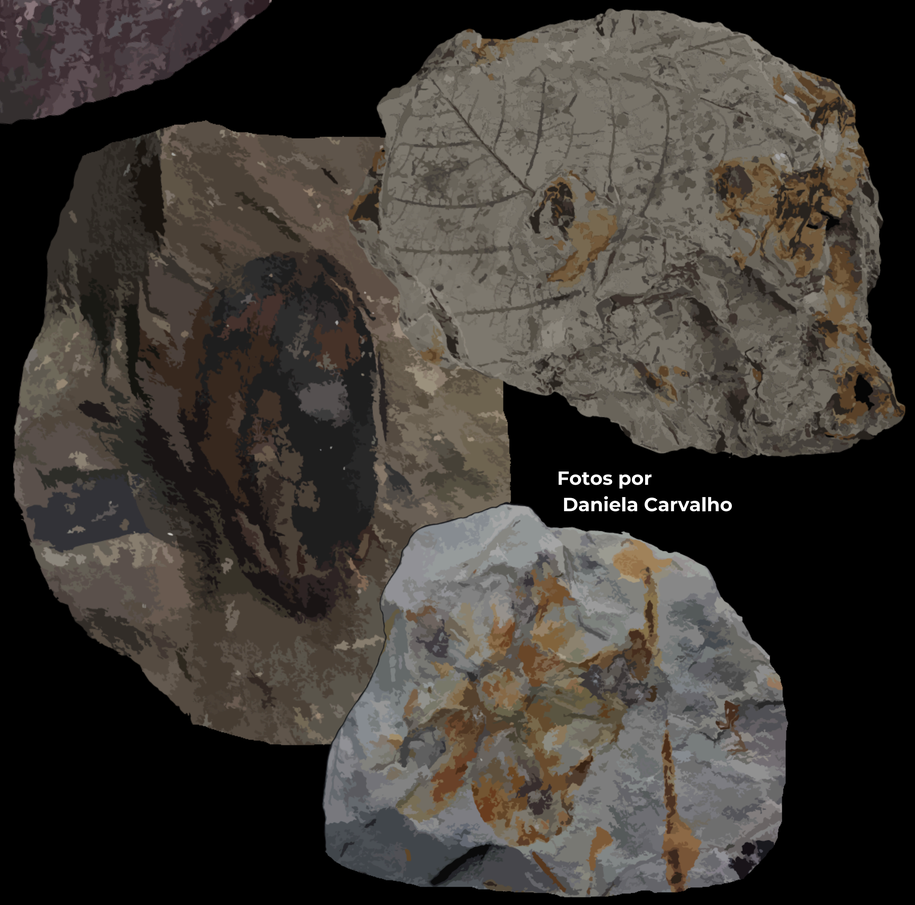


Foto por Jaramillo et al (2015)

En el polen, su capa externa es la que perdura en el registro fósil. Este es denominado como un microfósil debido a su tamaño tan pequeño.

Las maderas se fosilizan a través de un proceso llamado **permineralización**, en donde **los minerales** del sedimento en el que fue enterrada la madera, se infiltran a través de los poros y cavidades de esta, **reemplazando la materia orgánica y generando una réplica exacta de la estructura original**.

Hay casos en donde la materia orgánica no es reemplazada por minerales completamente, y se le conoce como **“subfósil”**, existen tres tipos de maderas subfósiles: **Momificadas, Carbonizadas** y **Coalificadas**



Fotos por Daniela Carvalho

Además de la permineralización y la carbonización, las hojas, semillas, flores y frutos pueden sufrir otro tipo de procesos de fosilización llamados **impresiones y/o compresiones.** En estas, el órgano de la planta se deposita en un sedimento que se endurece y deja una **impresión de su forma, de sus patrones, venas y/o relieves**.

En el caso de las compresiones, alguna proporción del **material orgánico se mantiene en la roca.**

# LAS EVIDENCIAS DE LOS BOSQUES PARTE 1: LAS HOJAS

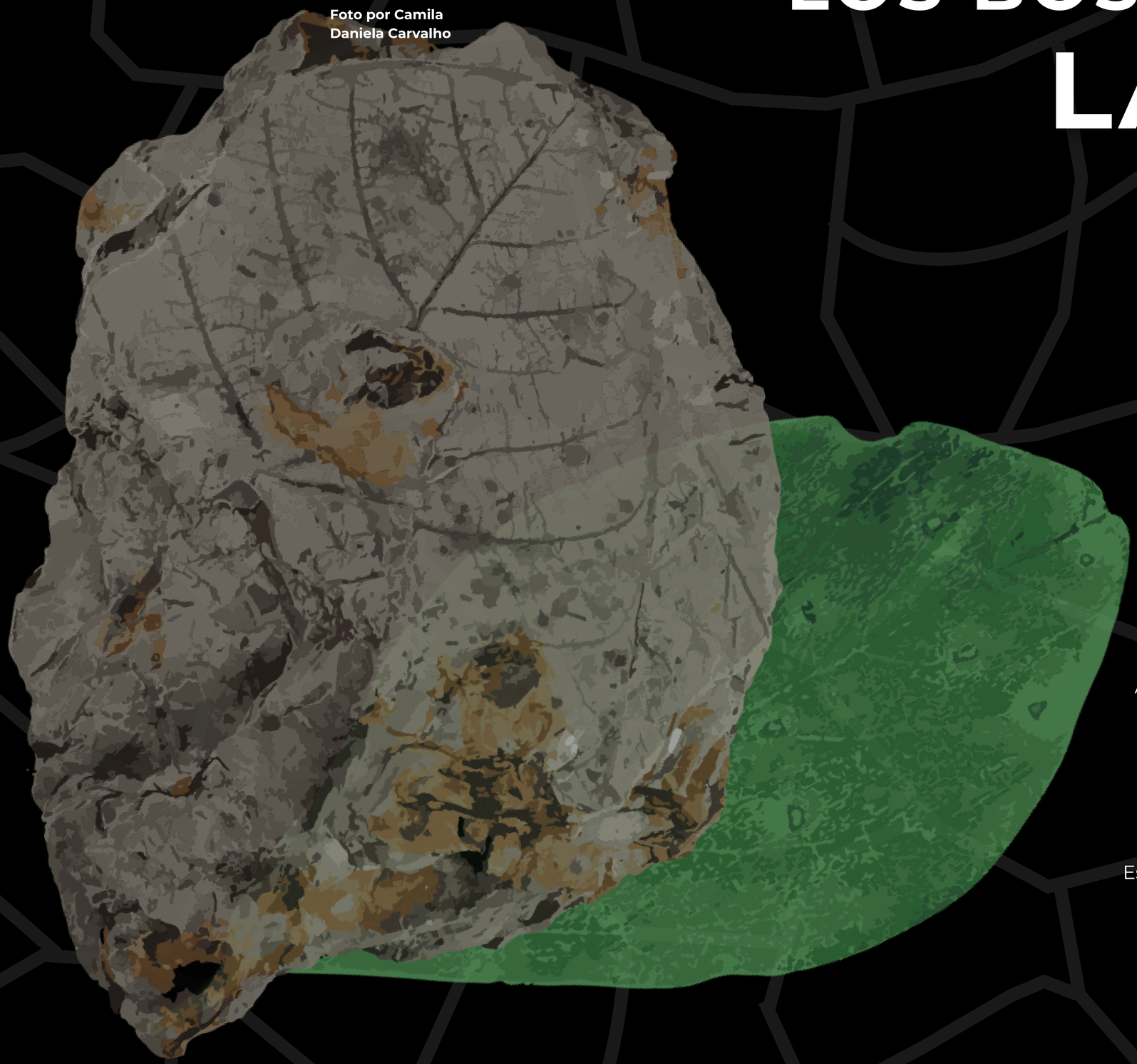


Foto por Camila Daniela Carvalho

Las hojas, a pesar de que aparentan ser frágiles, son algunas de las **evidencias más abundantes** dentro del registro fósil. Su **diversidad de formas y estructuras** las convierte en auténticas cápsulas del tiempo, capaces de contar historias fascinantes sobre los ecosistemas del pasado.

Desde sus formas, hasta la disposición de sus venas, cada detalle nos **proporciona pistas cruciales sobre el clima, la altitud, la estacionalidad y las interacciones** entre las plantas y su entorno.

Al estudiar cientos de ejemplares fósiles y **aplicar diversas metodologías predictivas**, los paleobotánicos pueden **reconstruir paisajes antiguos**, **identificar patrones de cambio climático** y comprender cómo las plantas han respondido a eventos geológicos y climáticos a lo largo de millones de años.

Este conocimiento no solo nos permite apreciar la riqueza y complejidad de la vida en la Tierra, sino que también nos **brinda herramientas para enfrentar los desafíos ambientales de la actualidad y del futuro.**

# LA ESTRATIFICACIÓN EN LOS BOSQUES

El término **“estratificación”** de los bosques ha sido utilizado a lo largo de los años para definir la **variedad y organización simultánea** de los bosques a causa de las especies que las habitan.

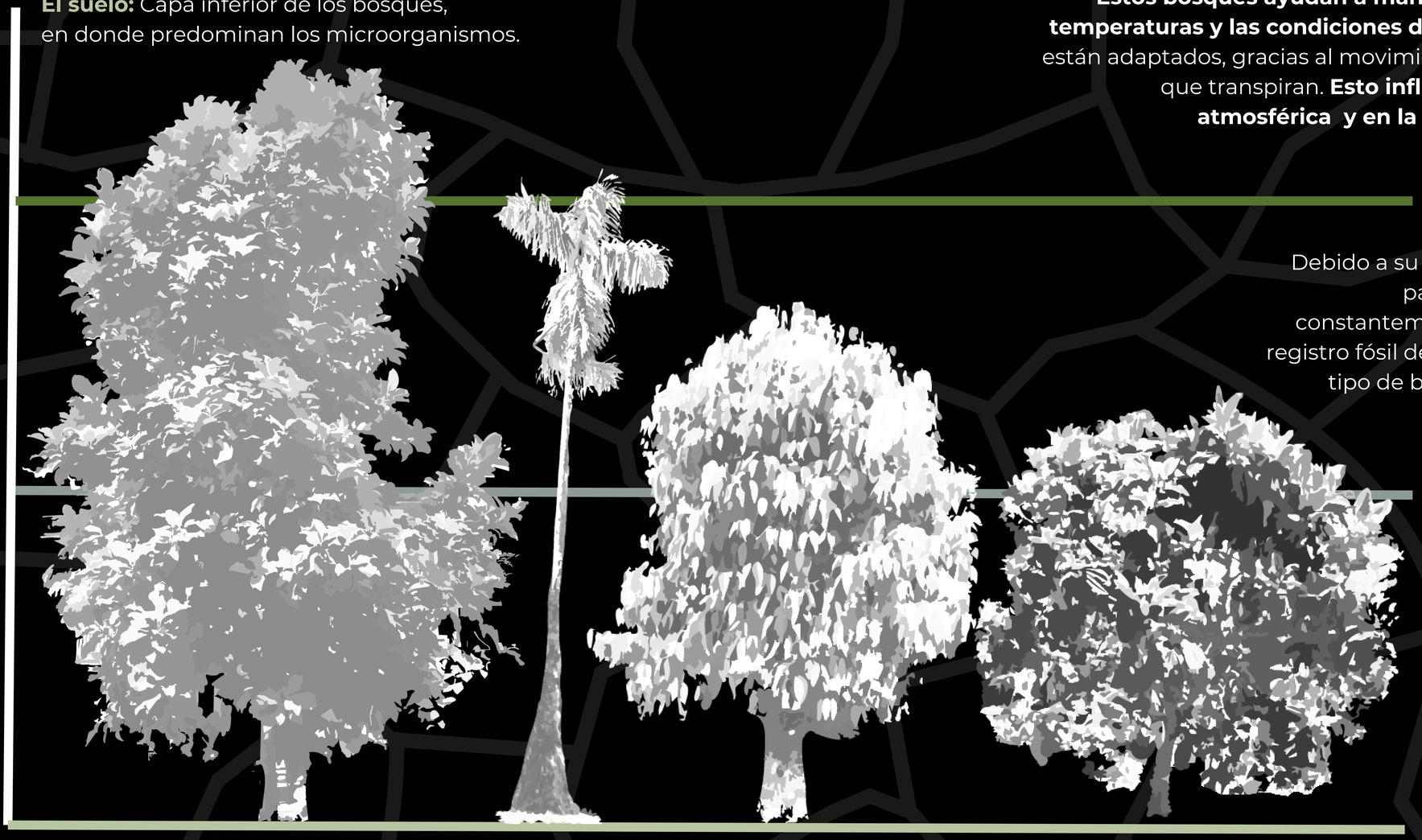
## LAS CAPAS

**El dósel:** La capa más alta de cualquier bosque estratificado.

**El sotobosque:** Es la capa que le sigue verticalmente al dosel, un intermedio entre el dósel y el suelo.

**El suelo:** Capa inferior de los bosques, en donde predominan los microorganismos.

En el dósel, por ejemplo, predominan los árboles más altos y viejos, que capturan la mayor cantidad de luz, y las plantas epífitas que aprovechan la altura de sus hospederos (los árboles) para alcanzar más luz.




Podemos pensar en un bosque estratificado, como un bosque dividido por capas que varían en **formas de vida y edades de sus habitantes**, con base en la **altura** en la que se encuentren.

L**os bosques tropicales de dosel cerrado son el bioma más diverso**, e influyen en la dinámica del agua, el carbono y el clima a escala continental y mundial.

**Estos bosques ayudan a mantener constantes las temperaturas y las condiciones de humedad** a las que están adaptados, gracias al movimiento masivo del agua que transpiran. **Esto influye en la circulación atmosférica y en la temperatura global**.

Debido a su gran importancia, los paleobotánicos buscan constantemente evidencias en el registro fósil de la existencia de este tipo de bosques en el pasado.

La estratificación de los bosques genera verticalmente distintos microhábitats, a causa de la **variación en humedad, precipitación, acceso a la luz, tamaño de las hojas y diferenciación en las especies** que lo habitan.

Todas estas condiciones son más variables en los bosques tropicales, **convirtiéndolos en los más estratificados.** Especialmente los bosques húmedos tropicales.

# COMPRENDER EL PASADO
# USANDO LAS VENAS

**Las venas son fundamentales para el transporte de nutrientes, pero también son una gran herramienta para estudiar los bosques del pasado.**

Las especies que alcanzan el **dosel** poseen una **venación más densa**, a comparación de aquellas que habitan el **sotobosque.**

**Venas densas**

Mayor disponibilidad de luz y menos humedad.

**Venas separadas**

Menor cantidad de luz, pero mayor humedad.




Las venas de las hojas tienen una **densidad** diferente, la cual **depende del nivel** en que estas se encuentran dentro de la **estratificación** del bosque.

Los científicos utilizan la **composición de la hojarasca de los bosques actuales, y la comparan con las hojas fósiles** para estudiar las densidades de venas en los bosques del pasado.

Cuando se miden las venas de los fósiles que componen la flora de un sitio, **y se encuentra una gran variación en sus venas, se puede inferir que se trataba de un bosque estratificado**.

Los científicos toman muestras de **hojarasca, del dosel y del sotobosque** para comparar las diferencias entre las venas de las hojas.

Utilizan una fórmula matemática para medirla en un fragmento de la hoja:

**Densidad de la vena (Dv) = longitud de la vena (L) ÷ área de la hoja (a)**

La variación presente en la hojarasca logra reconstruir las mismas diferencias con base en la estratificación.



ALIANZA BIOFILIA
Voces para la conservación de la biodiversidad

# DATANDO LOS BOSQUES A TRAVÉS DEL CARBONO

**Los isótopos de carbono varian entre los diferentes estratos del bosque, creando el "efecto dosel", que es utilizado para estudiar los bosques del pasado.**

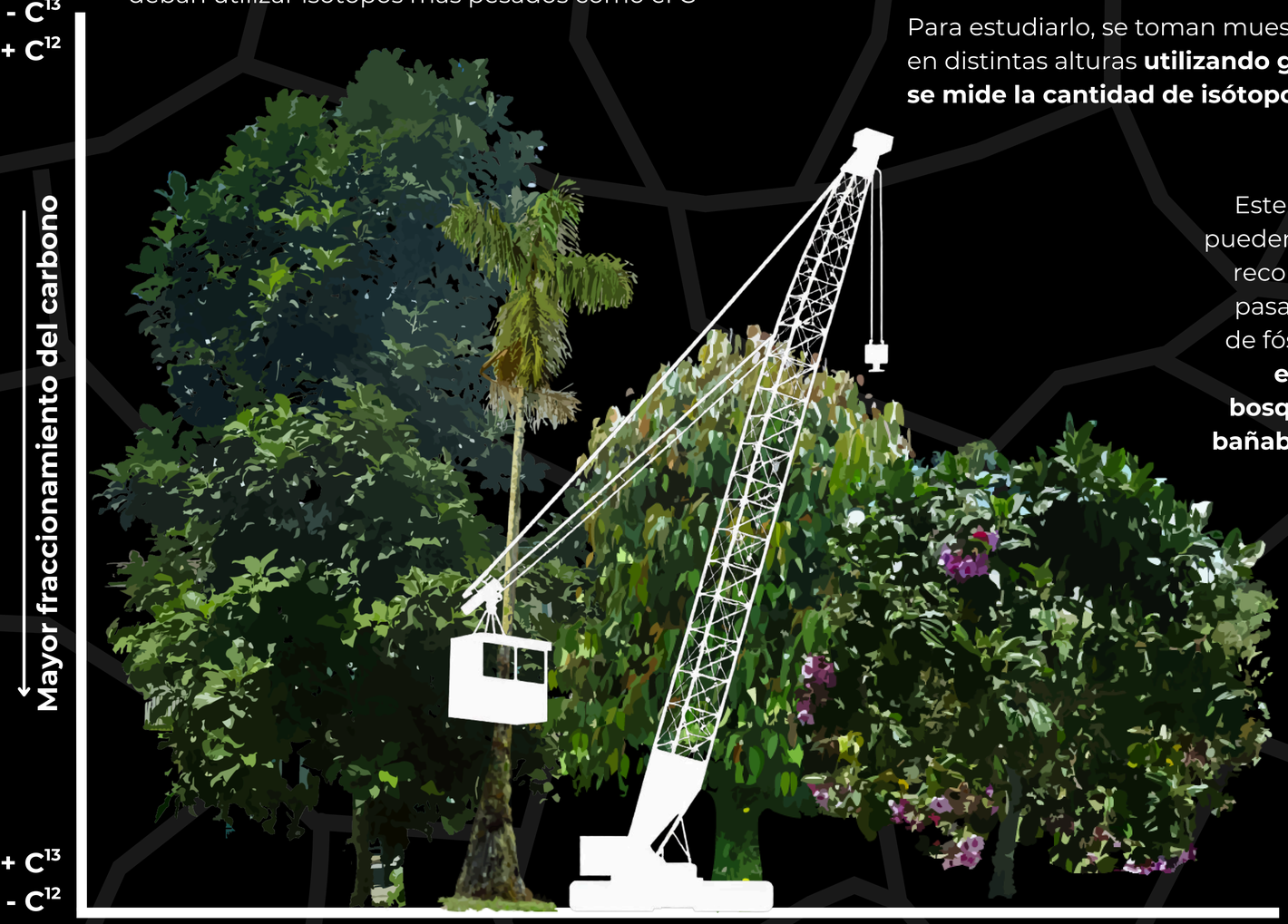
**Los isótopos** son variantes de un mismo elemento, en donde sus átomos poseen un **número diferente de neutrones.** Por ejemplo, el **carbono 13 ($C^{13}$) posee 7 neutrones,** mientras que el carbono 14 ($C^{14}$) posee 8.

**El efecto dosel** se explica como la **reducción en la composición de 12C en las hojas** de los árboles a medida en que descendemos desde el **dosel hasta el suelo.**

**Las plantas siempre van a querer utilizar el isótopo de carbono más ligero ($C^{12}$) sobre el más pesado ($C^{13}$).**

**En el dosel es donde la mayoría del $C^{12}$ es aprovechado,** el cual proviene del $CO_2$ atmosférico, desde allí y hacia abajo, las plantas del sotobosque y del suelo obtienen su carbono principalmente de la **respiración celular de los microorganismos del suelo y de las raíces.**

La **obtención de carbono a partir del $CO_2$ generado en el suelo**, provoca un **proceso de reciclaje de nutrientes que va reduciendo la disponibilidad de $C^{12}$** ya que no hay un intercambio directo de $CO_2$ con la atmósfera, lo que aumenta la probabilidad de que las plantas más bajas deban utilizar isótopos más pesados como el $C^{13}$




Para estudiarlo, se toman muestras de hojas en distintas alturas **utilizando grúas y luego se mide la cantidad de isótopo presente.**

Este tipo de mediciones se pueden utilizar para ayudar a reconstruir los bosques del pasado, definiendo a partir de fósiles **qué tan cerrados eran los doseles de los bosques, qué tanta luz los bañaba y qué tan humedos eran originalmente.**

Todo esto permite **construir teorías acerca de la composición de los bosques en las diferentes eras geológicas.**

Este efecto se ha atribuido a variables **como la respiración celular, la humedad y la luminosidad disponible.**

ALIANZA BIOFILIA
Voces para la conservación de la biodiversidad

**Capítulo co-creado con Liliaña Londoño Ortíz**

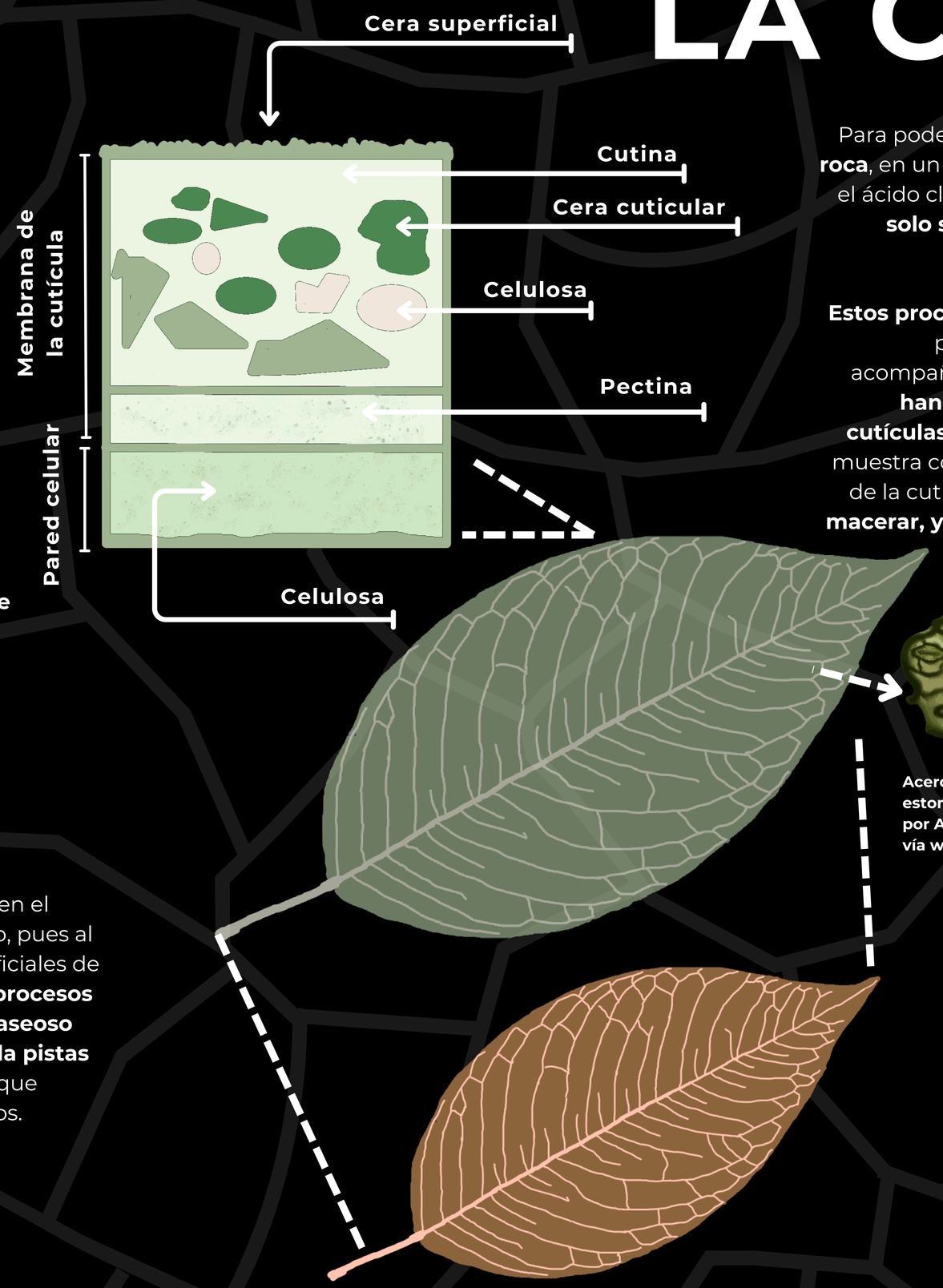
# LA SUPERFICIE DE LAS HOJAS: LA CUTÍCULA

Tal como hablamos en el capítulo anterior, el $CO_2$ absorbido por las plantas es medido a partir de sus hojas, pero **¿Cómo se obtiene? ¿en qué parte de las hojas se almacena?** En el caso de **los fósiles,** respuesta la tienen **las cutículas.**

**La cutícula es la capa más superficial que recubre a las hojas de las plantas.** Está hecha de un polímero llamado cutina, y por varios tipos de ceras que la vuelven **impermeable y resistente.**

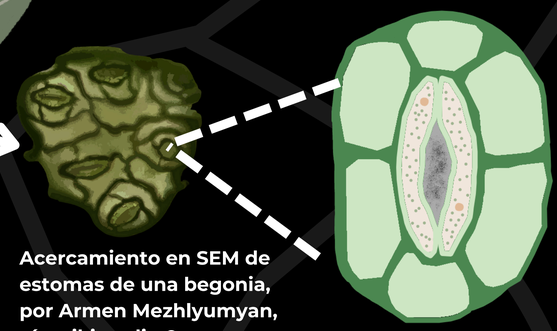
Gracias a la resistencia de sus componentes, **la cutícula es capaz de formar un molde natural de las células más superficiales de la hoja, reflejando su patrón celular original** (incluyendo a los estomas, los pelos, glándulas, etc). **Su resistencia les permite incluso conservarse en buen estado sobre las hojas fósiles.**

Esta capa superficial es fundamental en el estudio de los ecosistemas del pasado, pues al copiar las estructuras celulares superficiales de la planta, **en ellas podemos evaluar procesos ambientales como el intercambio gaseoso realizado por los estomas**, **que nos da pistas sobre las condiciones atmosféricas** que permeaban a los bosques prehistóricos.




Para poder estudiar las cutículas, estas **deben ser separadas de la roca**, en un proceso que utiliza sustancias químicas corrosivas como el ácido clorhídrico y/o el ácido fluorhídrico, los cuales permiten **no solo separación, sino que además retiran y limpian algunos sedimentos** que quedan impregnados en la cutícula.

**Estos procesos químicos suelen degradar la muestra de cutícula** pues son altamente corrosivos y su funcionamiento viene acompañado de la maceración previa de la hoja. Debido a ello, **se han creado alternativas basadas en la transferencia de las cutículas utilizando adhesivos de poliéster**, estos se pegan en la muestra como una cinta, y cuando se retiran, permiten la adhesión de la cutícula al poliéster, **evitando que la muestra se tenga que macerar, y conservando el orden espacial original de la cutícula.**



**Acercamiento en SEM de estomas de una begonia, por Armen Mezhlyumyan, vía wikimedia ©**

**La densidad de estomas es inversamente proporcional con la concentración atmosférica de $CO_2$**

**La importancia paleoclimática de las cutículas radica en su capacidad de poseer información sobre los estomas de la plantas**, **quienes se encargan del intercambio de agua y $CO_2$ entre la planta y la atmósfera**. En la cutícula podemos obtener datos como el porcentaje de estomas por superficie, la frecuencia de estos en una muestra y su tamaño. **Estos datos son comparados con la capacidad de asimilar el $CO_2$ por parte de las plantas actuales**, permitiéndole a los investigadores reconstruir la cantidad de $CO_2$ que había en el pasado.

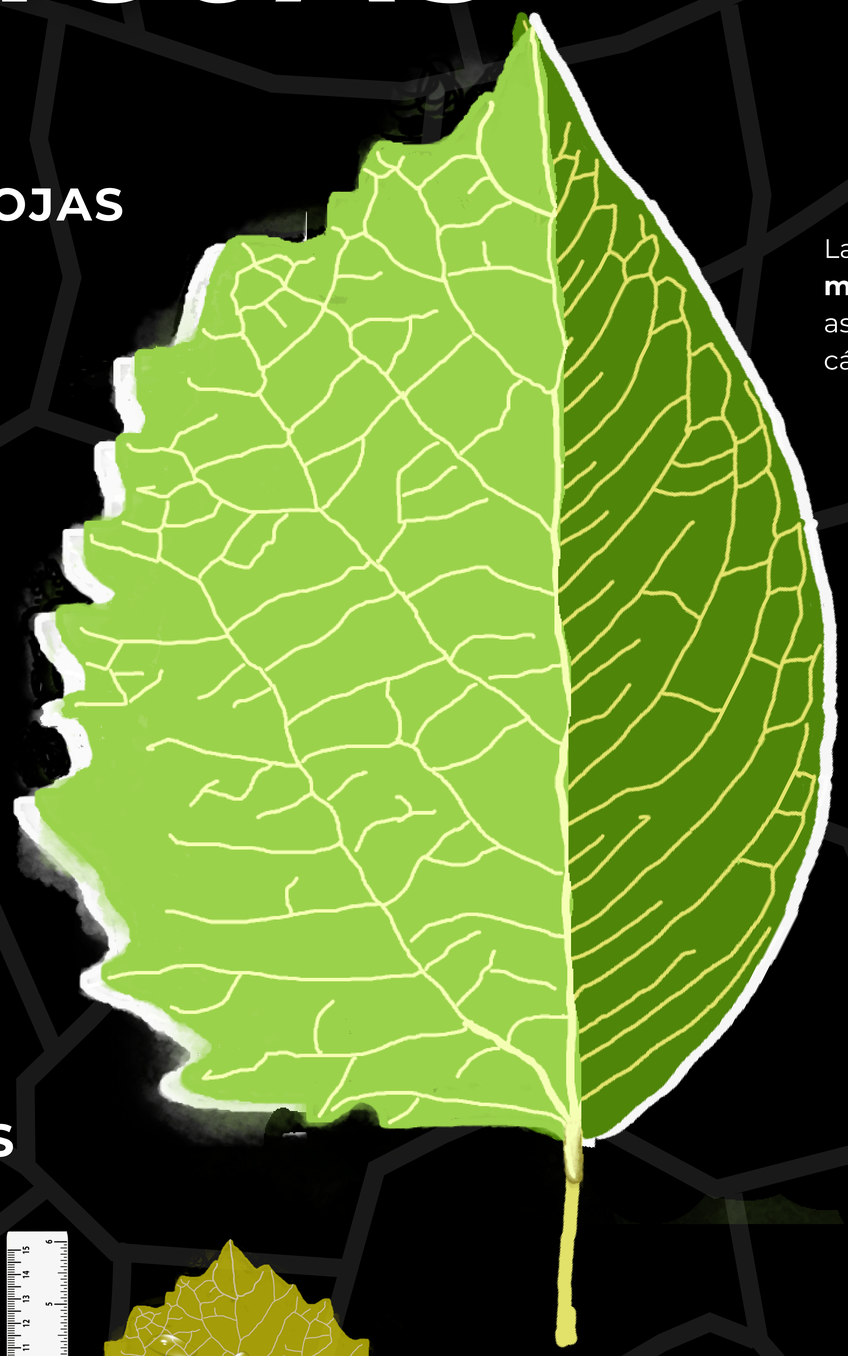
# LAS FORMAS DE LAS HOJAS

**La morfología de las hojas en el registro fósil importa, de hecho, nos permite entender el contexto ecosistémico en el que se encontraban.**

## LAS MÁRGENES DE LAS HOJAS

**Los dientes** aumentan la superficie de la hoja, **favoreciendo la absorción de carbono y la capacidad fotosintética**. Además, **disminuyen la probabilidad de que sean dañadas por congelación** en ambientes fríos.

Las especies con márgenes aserradas, están asociadas a los **climas fríos,** expresada como una adaptación para prolongar las temporadas de desarrollo vegetativo, que son escasas en estos climas.



Las hojas de **márgenes lisas** se asocian con climas cálidos.

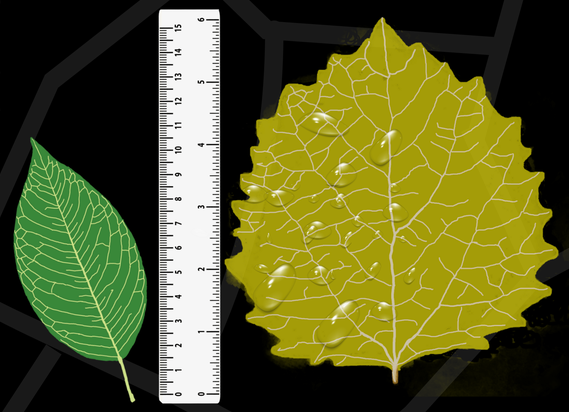
Se ha visto que **en las angiospermas, la forma de la hoja cambia en las distintas especies como respuesta a las condiciones en las que se encuentre** (variación en la temperatura, en la calidad de la luz y en la cantidad de lluvia)



**Para hacer predicciones acerca de sus ecosistemas, es necesario tomar más de 20 muestras de hojas, para más de una especie**

## EL TAMAÑO DE LAS HOJAS

**Las hojas pequeñas** se ven asociadas con climas secos y calurosos, pues al tener una menor superficie disminuyen la transpiración y por ende la pérdida de agua.



**Las hojas grandes** se ven asociadas con climas más húmedos, pues en estas zonas las plantas pueden realizar procesos de transpiración menos limitados. También es más común observarlas en el sotobosque, como una estrategia para obtener más luz

# UNA RELACIÓN PREHISTÓRICA: LA HERBIVORÍA

**A pesar de que los insectos afectan a las estructuras de las plantas, esta relación basada en la herbivoría posee una serie de dinámicas e indicadores que nos ayudan a contar la historia de las eras pasadas.**



## ¿Hace cuánto tiempo?

La relación de herbivoría entre plantas e insectos no es algo único de las especies actuales, de hecho, esta dinámica de depredación por parte de los insectos posee evidencias que datan de **hace más de 417 millones de años (Ma), durante el periodo Silúrico.**

## El desarrollo de esta relación

En el periodo **Carbonífero (305 Ma) ya habían evidencias algunas formas de herbivoría por insectos como la perforación, succión, depredación de semillas,** entre otras. Mientras que para el **Triásico tardío (200 Ma)** apareció la construcción de minas en las hojas por parte de larvas.

## La diversidad de herbívoros y el ambiente

Los **insectos también se ven afectados por los cambios ambientales**, y esto se puede observar en el registro fósil:

**A mayor temperatura, mayor diversidad y frecuencia de daños en hojas** por insectos.

A **mayor precipitación**, hojas más densas con menos nutrientes y por lo tanto, **menor herbivoría.**

**La diversidad de insectos está correlacionada con la diversidad de plantas, por lo que los eventos de extinción también afectan directa e indirectamente la herbivoría**

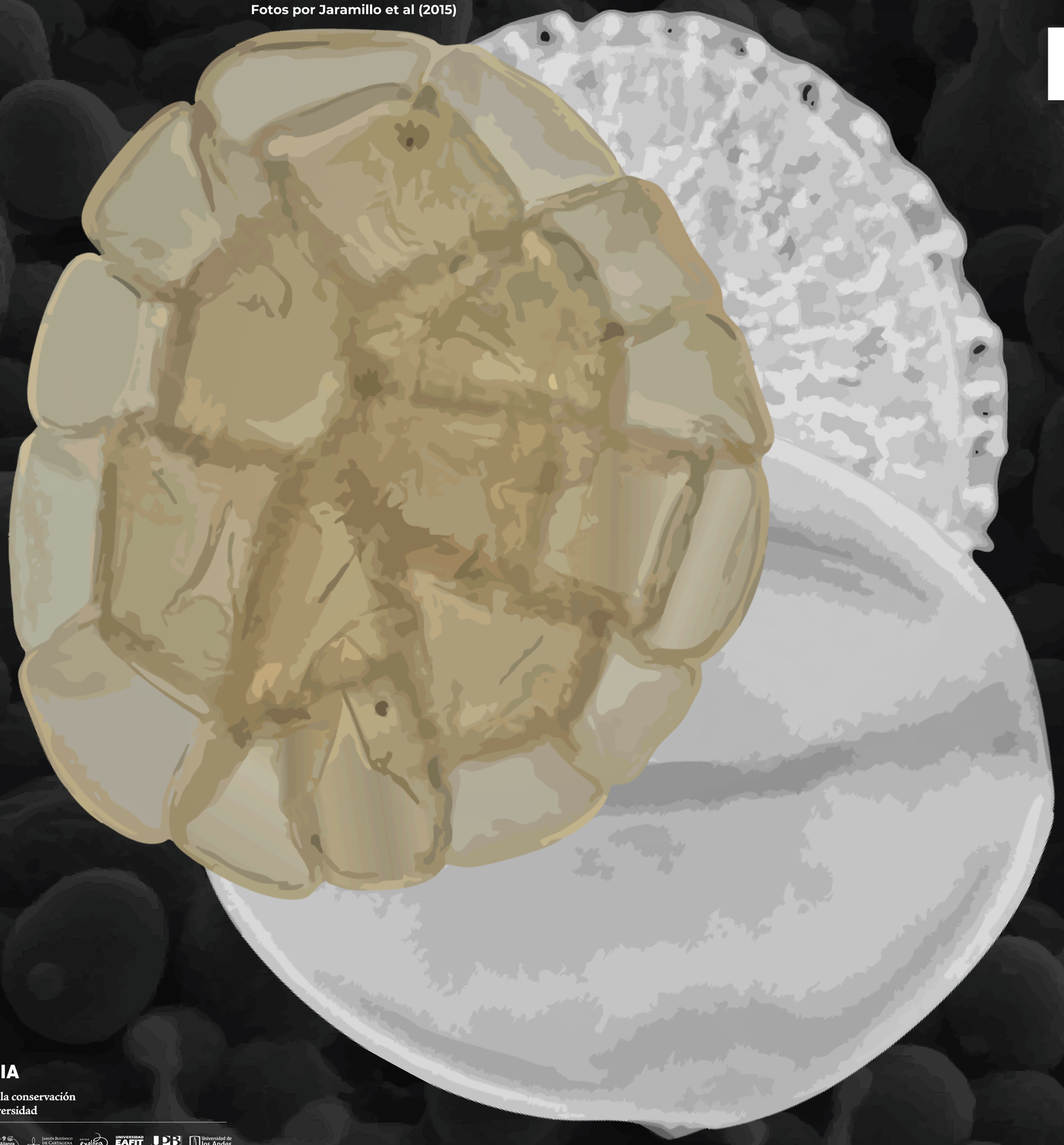
## ¿Por qué la estudiamos?

**El registro fósil de los insectos es escaso, las plantas entonces generan una gran alternativa para estudiar la historia evolutiva de los insectos**, porque los daños causados por estos se preservan en el registro fósil de las plantas.

## ¿Cómo la estudiamos?

Los investigadores clasifican y comparan los **tipos de daño causados (DT) por insectos en el registro fósil.** Ya que los **DTs están correlacionados con la riqueza de insectos**, es posible analizar su diversidad en el pasado, puesto que los **diferentes grupos de insectos poseen diversas formas de alimentarse**, permitiendo separarlas entre sí, y compararlas con los DTs actuales y sus especies asociadas.

# LAS EVIDENCIAS DE LOS BOSQUES PARTE 2: EL POLEN



Fotos por Jaramillo et al (2015)

A pesar de ser diminutos, los granos de polen son poderosos testigos del pasado. Estos **microfósiles**, producidos en abundancia por las plantas con flor, ofrecen una ventana única a los ecosistemas prehistóricos.

Al estudiar la **palinoflora**, es decir, el **conjunto de granos de polen fósiles**, podemos reconstruir ecosistemas desaparecidos, identificar aquellos cambios de flora producidos a lo largo del tiempo por efectos ambientales y geológicos, e incluso **identificar especies para las cuales no tenemos otro tipo de evidencia fósil.**

Son pequeños, pero abundantes y sus formas y texturas sorprenden diariamente a todos aquellos que las estudian a través del microscopio.

# LA PALINOFLORA:
## EVIDENCIA MICROSCÓPICA DEL PASADO

**La palinoflora se encarga de estudiar los granos de polen y de esporas de helechos y hongos que están presentes en el registro fósil del planeta para entender la vegetación y el clima del pasado**

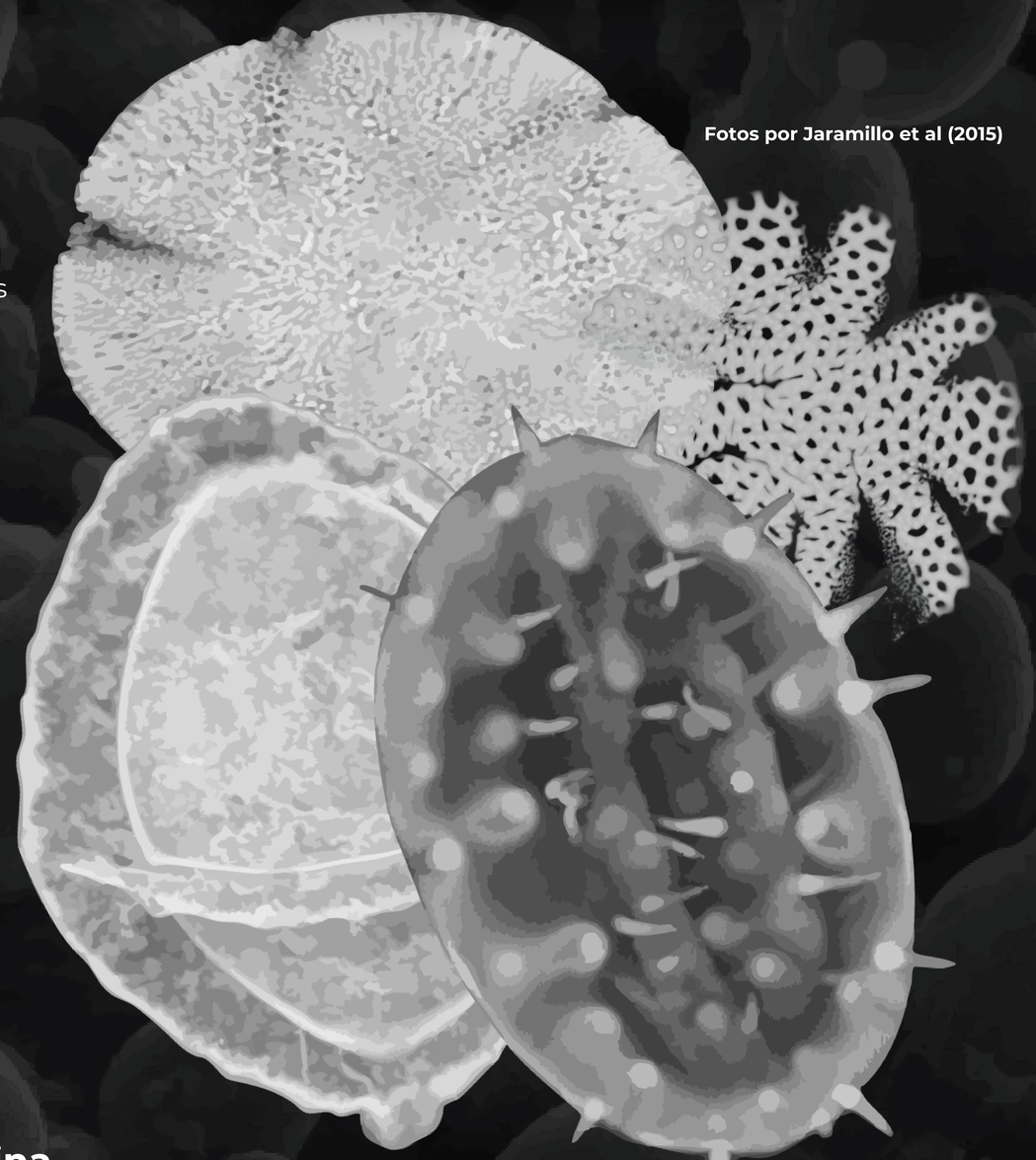
## Sus usos

El estudio de la palinología ha servido en múltiples campos, como el de la **bioestratigrafía,** que estudia la distribución de los granos de polen a través de las diferentes capas de rocas, para **identificar la edad relativa de estas**, algo muy útil en el campo de la explotación petrolera, por ejemplo.

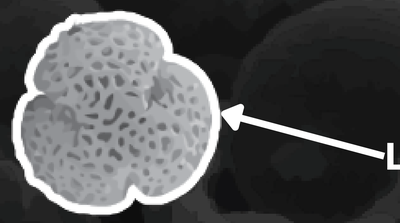
En la **paleobotánica**, son utilizadas para resolver la historia natural del planeta, viendo los cambios de las especies en el tiempo y el espacio.

## ¿Qué queda en los fósiles?

A pesar de que el polen se encuentra en el registro fósil, **sus compuestos internos no se conservan**, lo que se estudia es su estructura exterior llamada **Exina**, compuesta por una proteína llamada **esporopolenina**, que si es capaz de conservarse.



Fotos por Jaramillo et al (2015)



**La exina**

Esta capa **cambia según la familia o género** a la que pertenezca la planta que originó el grano de polen, por lo que los investigadores las observan en el microscopio y miden en ella variaciones asociadas a **su ornamentación, el tipo y el número de aberturas que esta posee, entre otras microestructuras.**

## Datar la extinción

Algunas eras geológicas poseen una alta cantidad de muestras palinológicas, lo que permite a los investigadores hacer una **reconstrucción de la biodiversidad de un ecosistema pasado en sus fases de pre-extinción, extinción, recuperación y post-extinción.**

## Los ecosistemas del pasado

Gracias a que las diferentes morfologías de las **exinas se pueden asociar a grupos taxonómicos en específico**, es posible **determinar la composición de especies dentro de una o varias muestras**, lo que la presenta como una metodología muy confiable a la hora de **determinar qué grupos de plantas hacían parte de un ecosistema pasado** y el tipo de ecosistema, al compararse con especies actuales.

## La palinoflora y el clima

Además de poder estudiar las estructuras que se forman en la exina de las esporas y el polen, estas mismas se han podido clasificar con base a su **preferencia por la humedad**:

**-Higrofíticas:** Prefieren la humedad
**-Xerofíticas:** Tolerantes a la sequía

# LAS EVIDENCIAS DE LOS BOSQUES PARTE 3: LA MADERA



**Anillos de crecimiento, vasos conductores, parénquima**... cada una de las estructuras de la madera encierra una inmensa cantidad de información, oculta a simple vista en lo que **podrían parecer simples fragmentos de roca o carbón**.

Al **comparar las maderas fósiles con las especies actuales** (anatomía comparativa), podemos reconstruir ecosistemas antiguos y revelar los secretos de la evolución vegetal a través de sus características funcionales.

El análisis de las maderas fósiles requiere una combinación de **conocimientos botánicos y habilidades técnicas**. La preparación de muestras, que implica realizar cortes precisos y delgados, es fundamental para observar la **anatomía interna de la madera**. A partir de estos cortes, los especialistas pueden identificar las características distintivas de cada especie y establecer relaciones evolutivas.

En este capítulo, exploraremos el fascinante mundo de las maderas fósiles. Descubriremos los procesos de fosilización, las técnicas de estudio y las valiosas pistas que estas reliquias nos ofrecen sobre el pasado de nuestro planeta.

# LAS MADERAS FÓSILES

## La madera y el tiempo

El tronco de los árboles funciona como una bitácora de su vida, pues anualmente este se **expande radialmente** y para ello, los árboles van produciendo una serie de **anillos.**

Usualmente estos anillos comienzan siendo **“Madera temprana”**, que se caracteriza por ser **delgada**, y a medida en que pasa el año, esta se engrosa y se transforma en **“Madera tardía”**, **que es más densa y que es propia del final del periodo de crecimiento del árbol.**



## Las maderas se adaptan

El grosor anual de cada uno de los anillos de un tronco no es el mismo siempre, este depende de las dinámicas internas de la planta, en este caso mediadas por las células del **xilema, el sistema por el cual la planta conduce sus nutrientes.**

Este sistema debe adaptarse a varias **condiciones internas variables** como **la cantidad de agua disponible**, para poder **conducir dichos nutrientes a toda la planta**, lo que hace que el grosor del **anillo de crecimiento pueda variar anualmente.**

## ¿Cómo se estudian?

Ya que las maderas fósiles se transforman en rocas densas, los investigadores pueden **hacerles cortes y pulirlos hasta que formen una delgada lámina**, que les permite observar sus estructuras internas a través deun **microscopio** y por lo tanto, determinar a qué especie corresponden.

## Estimaciones climáticas

Los investigadores han desarrollado fórmulas capaces de determinar condiciones climáticas a partir de las maderas:

**El promedio de anchura de los anillos** indica la favorabilidad de las condiciones climáticas. **La variabilidad en la anchura en los anillos año a año** indica la estabilidad del ambiente y el estrés ecológico.

**El porcentaje de madera tardía** indica la estacionalidad del clima.

## Determinando los cambios climáticos

Los cambios presentes dentro de un año pueden causar **“anillos falsos”, que visualmente se representan como círculos incompletos**. Estos son causados por **traumas asociados al encharcamiento de las raíces, las bajas temperaturas y/o al ataque constante de insectos.**

# LAS MADERAS FÓSILES ¿CÓMO SE IDENTIFICAN?

## Procesamiento

Para estudiar las maderas fósiles **es necesario obtener algunas secciones** de esta, que permiten analizar detalladamente sus estructuras internas.

Para ello, **las secciones son desbastadas** hasta formar una lámina lo suficientemente delgada como para permitir el paso de la luz del microscopio, en donde serán observadas y estudiadas.



Madera fósil

Imagen propiedad de
Camila Martínez Aguillón

## Las secciones

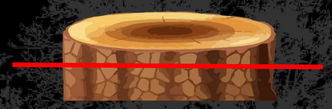
Para estudiar su anatomía, es necesario dividir la madera en **3 secciones**, mejor conocidos como **cortes: Transversal, tangencial y radial.**

Estos permiten establecer diferentes puntos de estudio dentro de la muestra, dándonos diferentes perspectivas de las estructuras internas.

### Radial



### Trasversal



### Tangencial



## Anatomía comparativa

Para entender el origen taxonómico de las maderas, los investigadores buscan familias y especies actuales que poseen características anatómicas similares a las observadas en la muestra fósil.



**El xilema secundario (el tejido que transporta agua y minerales desde las raíces) funciona como una huella digital para identificar cada una de las especies de árboles.**

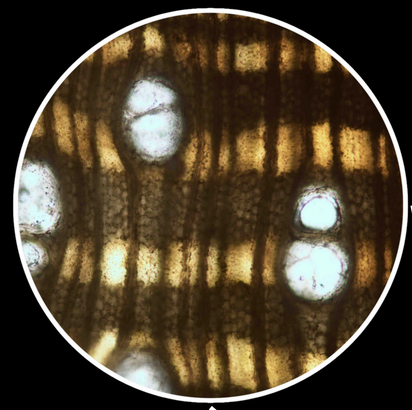


Imagen propiedad de
Diana Karen Pérez Lara



Imagen propiedad de
Diana Karen Pérez Lara

## Lo microscópico

Además de observar las estructuras que a simple vista se ven en los cortes de madera, los investigadores utilizan el microscopio para analizar algunas estructuras de tamaño minúsculo, como **el parénquima, los vasos, las fibras y otras células.**

# LAS MADERAS FÓSILES
# SU ANATOMÍA

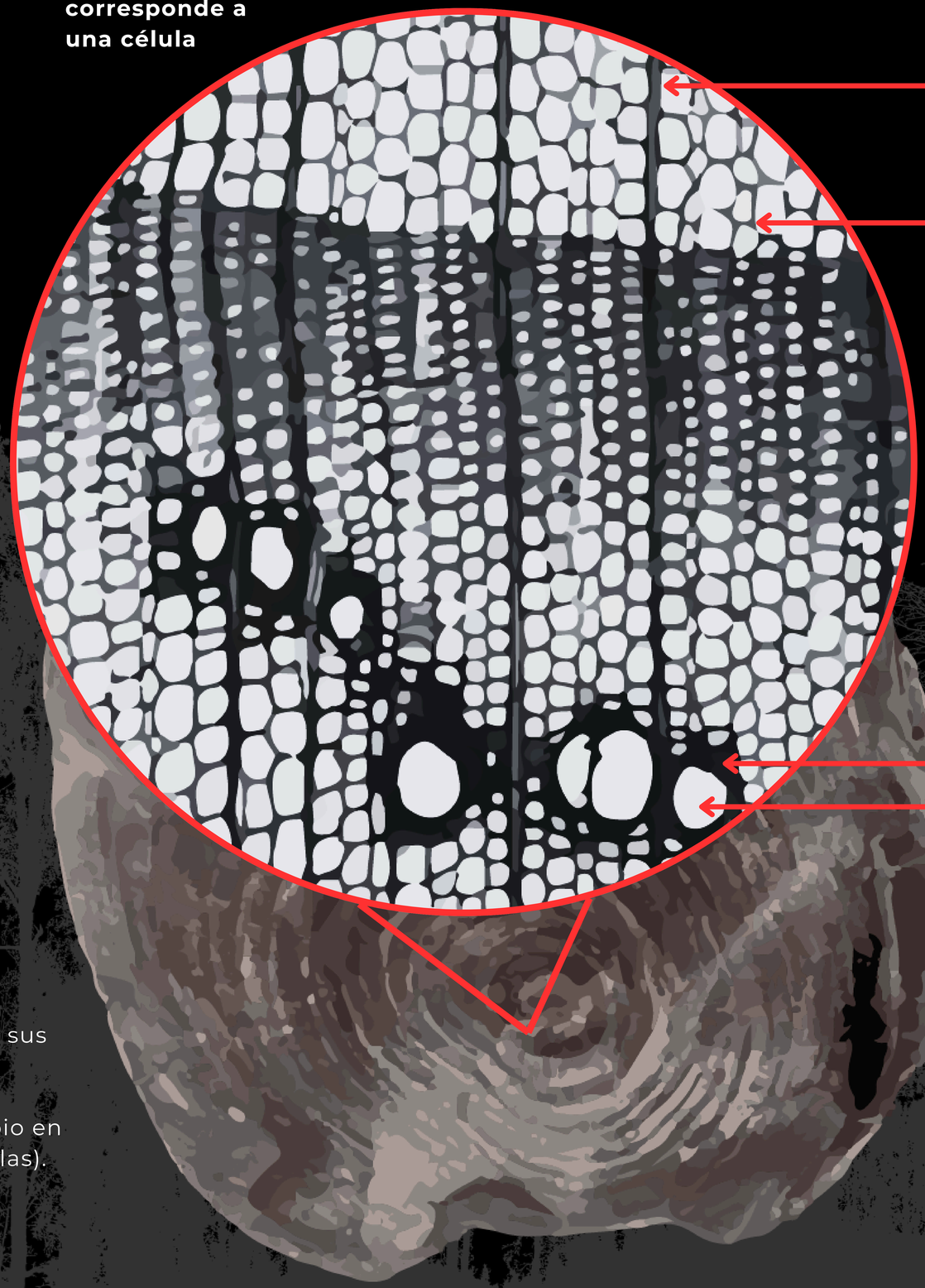
El estudio cualitativo de las maderas fósiles se unió con el estudio cuantitativo de las maderas actuales, para construir un modelo con el cual se pudieran estudiar todas las maderas, de forma estandarizada.

El xilema secundario trae consigo un gran conjunto de datos asociados a las **funciones mecánicas e hidráulicas de la planta, mediadas a su vez por las condiciones ambientales** a las cuales está sujeta la planta.

**Anillos deformes o incompletos** pueden estar **relacionados con condiciones ambientales adversas**, como sequías o inundaciones.

A diferencia de las plantas de zonas templadas, los árboles tropicales no poseen anillos tan marcados visualmente.

Microscópicamente, **estos anillos pueden estar delimitados por el patrón de los vasos** (diferencias en sus tamaños y distribución), **por el parénquima** (que puede formar bandas), **y/o por las fibras** (el cambio en el grosor de las paredes de sus células).




**RADIOS**

Los radios son células alargadas, cuadradas o rectangulares, encargadas del **transporte lateral de nutrientes, agua y otras sustancias químicas fundamentales.**

**FIBRAS**

Las fibras actúan un **soporte mecánico y estructural de la planta**, ayudándola a mantenerse firme y recta.

**PARÉNQUIMA**

El parénquima es un conjunto de células **encargadas de almacenar nutrientes como los carbohidratos, de transportarlos a través de sus propias células** (hacia el parénquima asociado o no a los vasos de la madera) y también de los vasos.

**VASOS**

**Los vasos** son las células principales para el **transporte de nutrientes y de agua verticalmente**, desde las raíces hasta las hojas, garantizando la eficiencia hidráulica de la planta.

**Su tamaño está correlacionado con la cantidad de agua disponible** en el ambiente, entre mayor sea la disponibilidad, mayor es el tamaño del vaso (y lo mismo en el sentido contrario).

# LAS EVIDENCIAS DE LOS BOSQUES PARTE 4:
# FLORES Y FRUTOS



Fotos por
Daniela Carvalho

Formas, colores, texturas... todo aquello que nos hace recordar a las plantas se encuentra generalmente en las flores y los frutos, es por ello que **son órganos fundamentales para la identificación de las especies.**

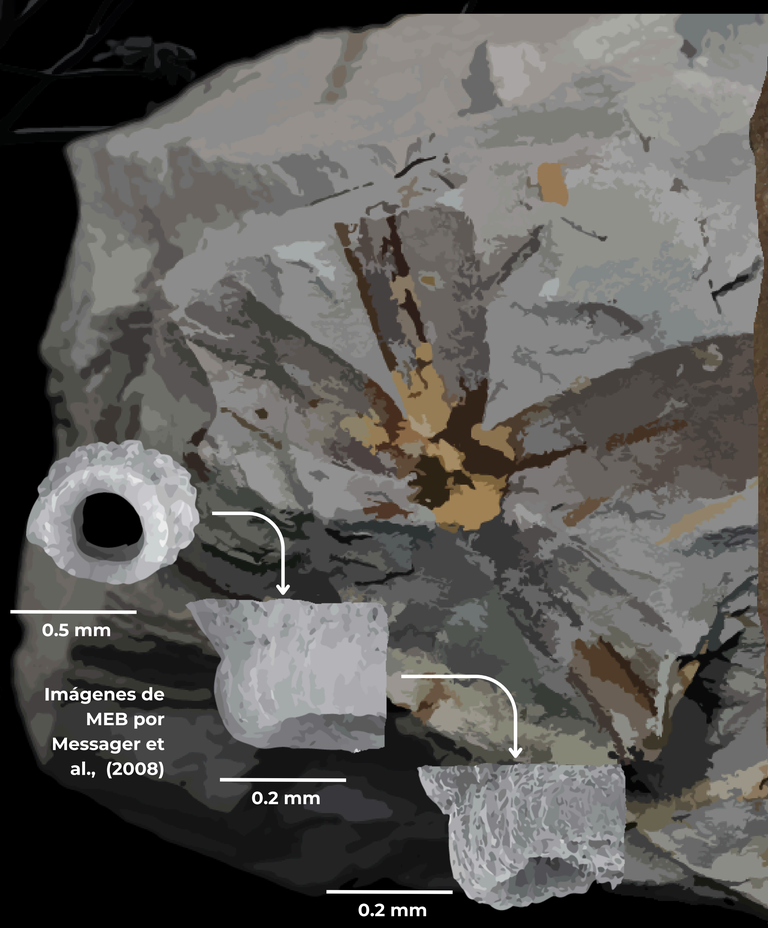
Sin ser una excepción a la regla, estos órganos que simbolizan la fertilidad y eficiencia de una planta también sufren de procesos de fosilización.

Si bien son menos comúnes a comparación de órganos vegetativos como las hojas, **su presencia es suficiente para lograr identificar y separar una especie de otra**, para **identificar el desarrollo** de algunas de las dinámicas más fundamentales en los ecosistemas como la polinización y la atracción de polinizadores.

# MAPEANDO LAS ESTRUCTURAS DE LAS FLORES Y FRUTOS

Para estudiar las flores y los frutos, es fundamental **analizar sus estructuras internas y externas de manera profunda**, pues son sus relieves, texturas, formas y tamaños los que dictaminan a qué familia de plantas pertenecían.

Este análisis profundo de los fósiles, solo es posible a través de metodologías de microscopía avanzadas, como la **Microscopía Electrónica de Barrido (MEB**). La MEB produce imágenes en alta resolución de la superficie que se está analizando, **generalmente de la parte exterior de los fósiles.**



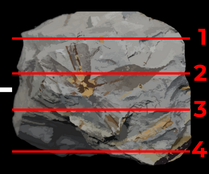

Imágenes de MEB por Messager et al., (2008)

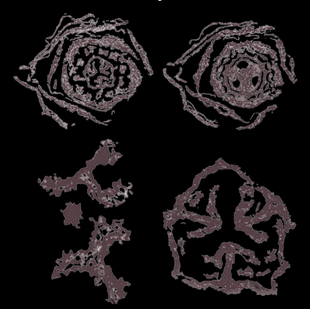
Fotos por Daniela Carvalho



**Dado que la MEB solo permite hacer un análisis superficial** de las muestras, en algunos casos los investigadores optan por **realizar cortes similares a los que se aplican para las maderas**, con el objetivo de indagar en el interior de las flores y/o frutos.

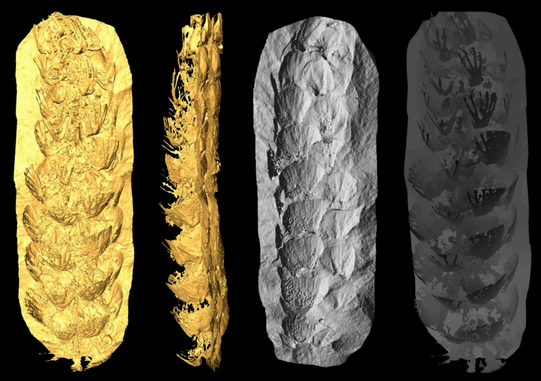
La diferencia con los cortes de madera radica en que para el estudio las flores y frutos, **cada parte fragmento cortado es fundamental, pues trae consigo información tridimensional interna**, por lo que los investigadores siempre **preservan cada corte realizado y los ordenan de manera secuencial**.



**Cortes transversales de una flor. Schönenberger et al. (2001)**

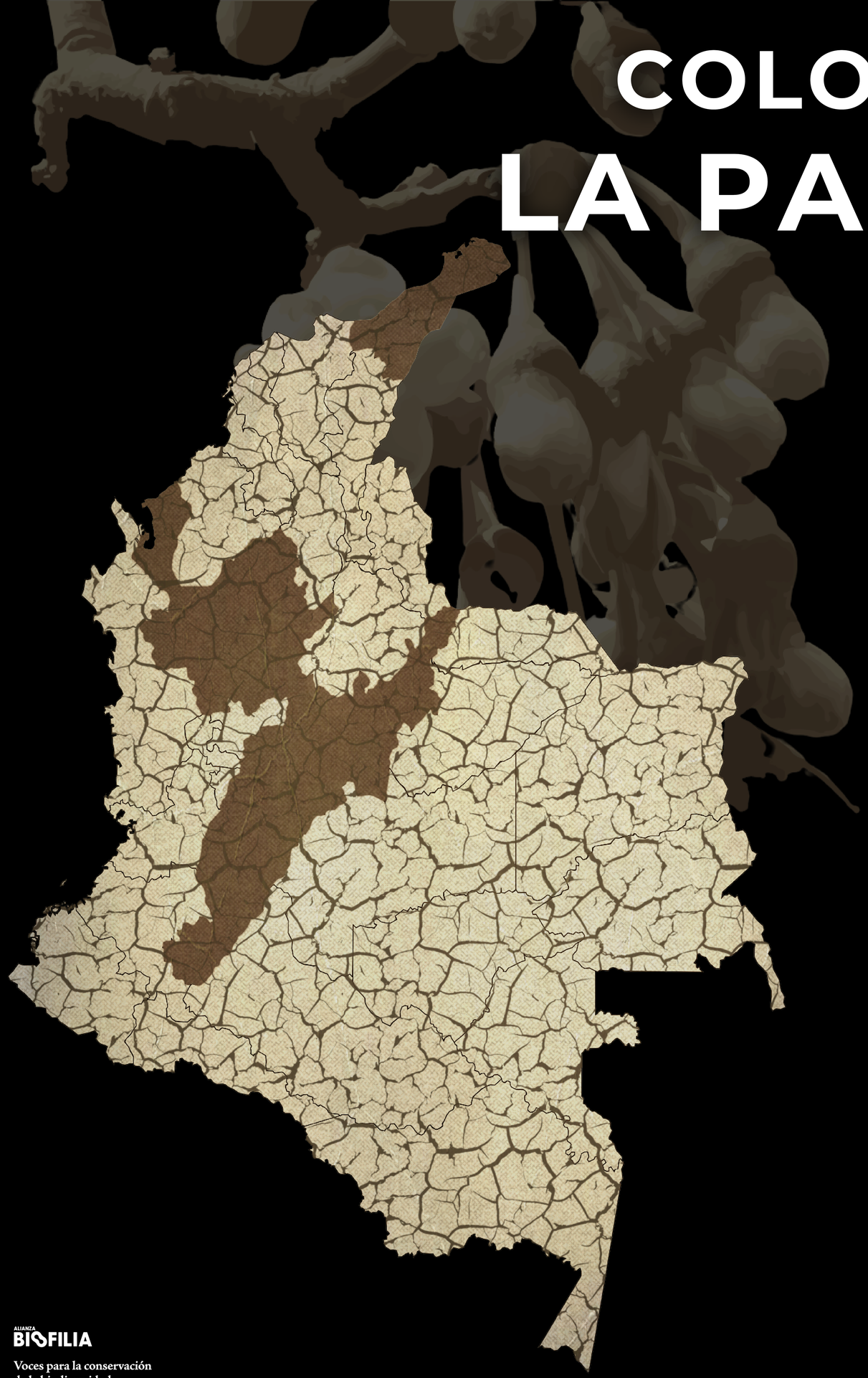
Recientemente, el uso de la **tomografía computacional (CT Scan)** para estudiar los fósiles ha permitido observarlos con mayor tridimensionalidad. Para ello, **las muestras son escaneadas con rayos X**, que son captados por un detector, el cual transmite esa señal como una imagen 2D.



**Imágenes de CT Scan por Herrera et al., (2023)**

L**as muestras de frutos y flores son deshidratadas en alcohol y se recubren en oro para que puedan conducir** los electrones, permitiendo generar una imagen de buena calidad en el MEB.

Esta metodología permite estudiar zonas menos superficiales de la planta, y **evita desgastar la muestra de fósil con cortes o fragmentaciones.**



# COLOMBIA A TRAVÉS DE LA PALEOBOTÁNICA

Además de albergar actualmente una amplia diversidad biológica, las diferentes zonas de Colombia resguardan algunos de los tesoros paleontológicos y paleobotánicos más importantes. **Desde el origen de los bosques neotropicales y el ascenso de las plantas con flor, hasta el desarrollo de los bosques secos tropicales**. Colombia trae consigo evidencia fundamental para entender el pasado de nuestro planeta y la evolución por la que este ha tenido que pasar para llegar a su punto actual.

En este capítulo discutiremos acerca de algunas de las zonas del país en donde se ha encontrado información fundamental acerca de las plantas del pasado y de los ecosistemas que estas ayudaron a construir. **Esta evidencia paleobotánica se encuentra resguardada actualmente en la colección paleobotánica de la Universidad EAFIT,** que con la ayuda del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales de Panamá, actualmente los investigadores y estudiantes pueden trabajar con estos fósiles, además de que ahora es posible exhibirlos a todos los visitantes de la colección.

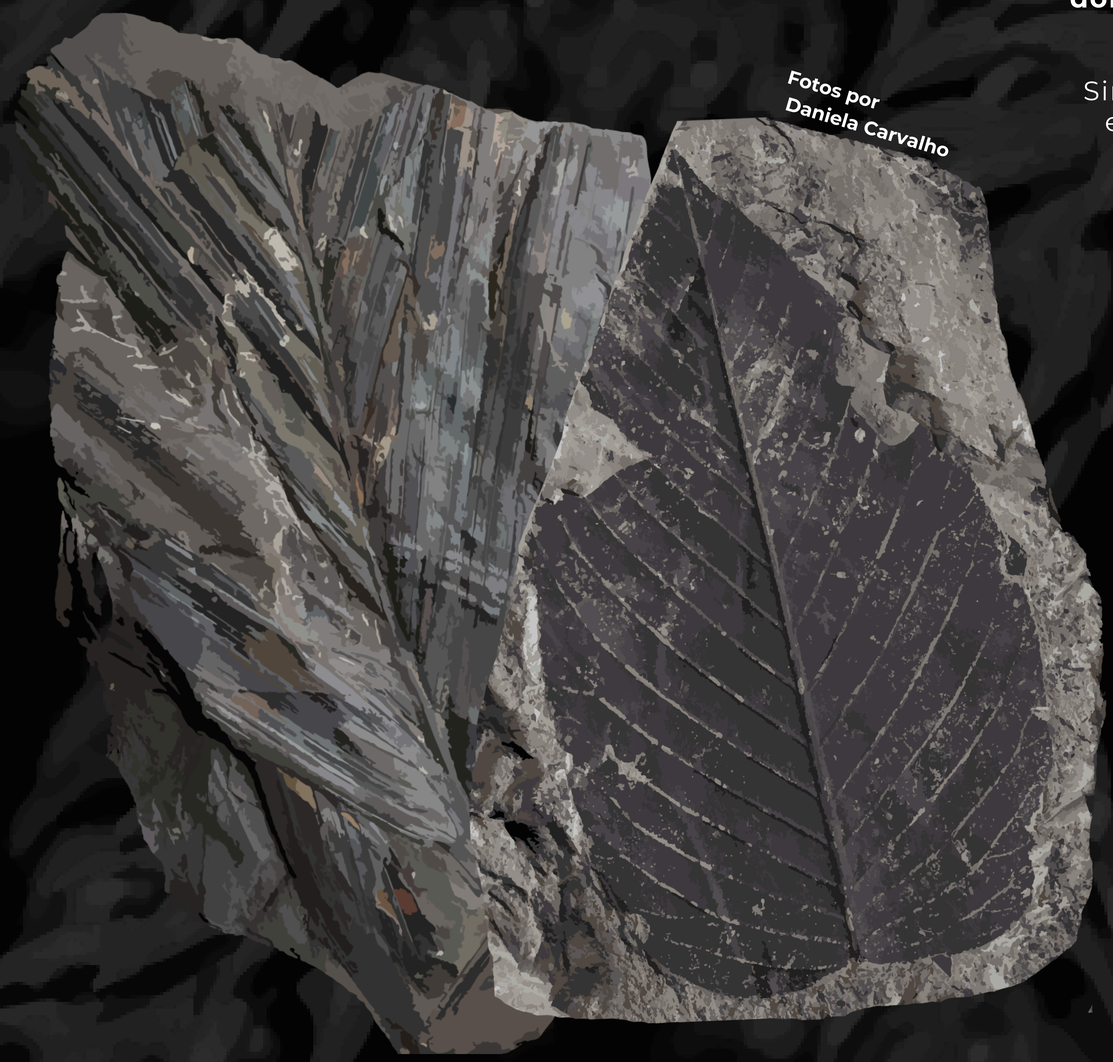
# LOS BOSQUES DE LA FORMACIÓN GUADUAS

Las formaciones geológicas son cuerpos de roca con características y ubicación específicas que facilitan la conformación y almacenamiento de fósiles.

En este caso, la Formación Guaduas se encuentra en el municipio de **Paz de Río, Boyacá**, cerca a la unión entre el río Chicamocha y el río Canela. **Aflora a lo largo de la Cordillera Oriental** y permea la mina de carbón Montecristo Ubaté, Cundinamarca.

Sus evidencias fósiles y minerales indican que esta Formación data del **periodo Cretácico, entre 68 a 66 MA.** Para ese periodo de tiempo, los Andes del Norte aún no habían comenzado su proceso de levantamiento.

Se trataba de un **bosque húmedo tropical de tierras bajas** cuyo dosel era abierto y poco estratificado, ya que los análisis de isótopos de $C^{13}$ indican valores similares para todas sus hojas (menor fraccionamiento isotópico). Así mismo, estaba **asociado a un ecosistema de llanura costera y/o de pantano.**



Fotos por Daniela Carvalho

La predominancia de hojas grandes, de márgenes lisas y venas densas, **indican que sus bosques eran húmedos y calurosos.** Poseían épocas de lluvia, con una precipitación anual de entre 2340 a 2930 milímetros.

A pesar de tener un dósel abierto, se trataba de **un ecosistema ampliamente diverso, en el que dominaban las plantas sin flor como los pinos, las araucarias y los helechos**.

Sin embargo, también se encontró una gran de evidencia perteneciente a algunas familias de angiospermas como Lauraceae (familia del aguacate), Araceae (familia de los anturios), Piperaceae (familia de la pimienta) y Rhamnaceae (familia de los espinos).

Las hojas fósiles estudiadas presentaron una **alta diversidad de tipos de mordidas por parte de animales herbívoros**, lo que implica a su vez que la comunidad de herbívoros en dicha zona era amplia.

Al comparar la flora y diversidad de mordidas en las hojas, entre la Formación Guaduas y Cerrejón, los investigadores llegaron a la conclusión de que l**os bosques del Cretácico eran más diversos que en el Paleoceno**, a pesar de que eran menos estratificados y sus suelos tendían a ser pobres.

Teniendo en cuenta que entre estos dos periodos se desarrolló la extinción masiva causada por el impacto del asteroide, es posible afirmar que **durante el Paleoceno los ecosistemas si se encontraban en un proceso de recuperación**, y que aquí **en Colombia tenemos evidencia del antes y después del evento que extinguió a los dinosaurios.**

# LA FORMACIÓN CERREJÓN

## La Guajira, Colombia

La formación Cerrejón se encuentra en el norte de la cuenca Cesar-Ranchería. Parte de ella está dentro de una mina de carbón a cielo abierto con ese mismo nombre, que se encuentra entre la Serranía de Perijá y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta

Esta formación está basada en un conjunto de minerales que se depositaron en ambientes fluviales, lacustres y estuarinos en una llanura costera frente extinto mar de Tethys.

Los sedimentos que conforman a la Formación Cerrejón están derivados de procesos geólogicos fundamentales para el desarrollo de Colombia, como lo es el levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta.

En El Cerrejón se han encontrado una amplia cantidad de fósiles de plantas y animales que nos cuentan una historia muy completa acerca de los ecosistemas pasados de la zona.

Foto por
Daniela Carvalho



Entre los diferentes fósiles de plantas hallados, se encuentran algunos ancestros de las heliconias (familia Heliconiaceae) y los anturios (familia Araceae).

Mientras que en el caso de los animales, se han encontrado ejemplares emblemáticos tales como tortugas gigantes y a la famosa Titanoboa, que una de las especies de serpientes más grandes que se han encontrado hasta ahora

Desde el año 2022 la Universidad EAFIT custodia permanentemente más de 1000 piezas fósiles asociadas a la formación Cerrejón, estas consisten principalmente en hojas fosilizadas por procesos de impresión

# EL CERREJÓN EN LA ACTUALIDAD

## SUS ECOSISTEMAS

Actualmente en el Cerrejón se desarrolla un ecosistema de **bosque seco tropical.** Este se caracteriza por tener una época de sequía bastante prolongada y una temperatura que va desde los 17° hasta los 35°C.

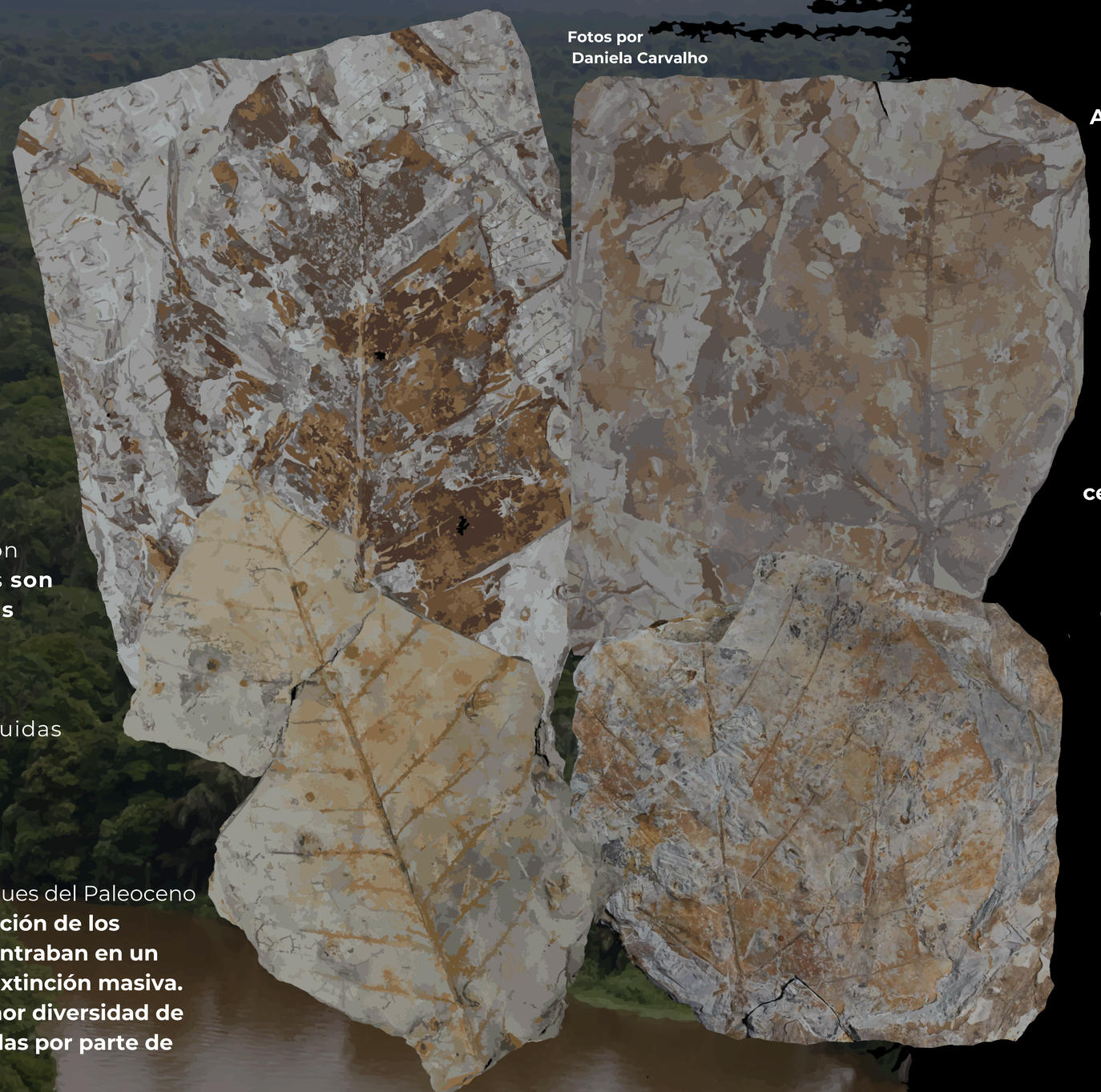
Los bosques secos tropicales son uno de los **ecosistemas más degradados del país**, debido a que en estos se presentan las condiciones adecuadas para realizar varias actividades humanas como la agricultura y la ganadería. **Gran parte de este tipo de ecosistemas se encuentra en la llanura del Caribe**, lo que incluye al sur del departamento de La Guajira.

## LA FLORA

En el sur del departamento de la Guajira se desarrollan **bosques secos mucho más extensos que en otras zonas del departamento**. A pesar de ser extensos, estos son **poco densos** a causa de la intervención humana.

Sus bosques se destacan por la alta presencia de **árboles y arbustos de la familia Fabaceae**, es decir, **leguminosas** como el Espinillo blanco (*Acacia farnesiana*) y la Cucharita del Cerro (*Mimosa arenosa*). También predominan las **euforbiáceas** como el Copalchí (*Croton niveus*) y las **malváceas** como la Ceiba (*Ceiba pentandra*).

# EL CERREJÓN EN EL PASADO



Fotos por
Daniela Carvalho

A comparación de su paisaje actual, El Cerrejón prehistórico era totalmente diferente. Durante el Paleoceno, que fue la época geológica que siguió luego de la extinción masiva que acabó con los dinosaurios en el planeta (durante el Cretácico). **El Cerrejón se destacó por ser un bosque húmedo tropical costero** en el cual se desarrollaban varios cuerpos de agua como ríos y pantanos.

Debido a que los fósiles del Cerrejón datan de hace más de 58 MA, estos **son considerados unas de las primeras evidencias que se tienen de los bosques húmedos neotropicales.**

Las estimaciones climáticas construidas a partir de las hojas, sugieren **temperaturas mayores a los 25°C**

Según varios estudios, estos bosques del Paleoceno **eran menos diversos a comparación de los modernos**, debido a que **se encontraban en un proceso de recuperación de la extinción masiva.** Esto se veía reflejado en una **menor diversidad de especies de plantas y de mordidas por parte de insectos.**

En el Cerrejón se encontraron una amplia variedad de familias de plantas, entre ellas **Fabaceae**, **Malvaceae** (la familia del cacao), y **Arecaceae** (la familia de las palmas).

En el caso de Menispermaceae, el **Cerrejón posee en registro más antiguo de dicha familia** para el norte de Suramérica.

Si bien eran bosques menos diversos, se logró identificar que **poseían doseles cerrados dominados por las plantas con flor**, esto representa un hallazgo sumamente valioso para la historia del planeta, pues los bosques que existían durante el Cretácico no correspondían a ecosistemas de dosel cerrado.

Lo anterior no solo indica que hubo un **cambio en la formación de los doseles** durante el Paleoceno, sino además que esto trajo consigo el **dominio de los nichos ecológicos por parte de las plantas con flor**, quienes a partir de esa época comenzaron a dominar los bosques tropicales.

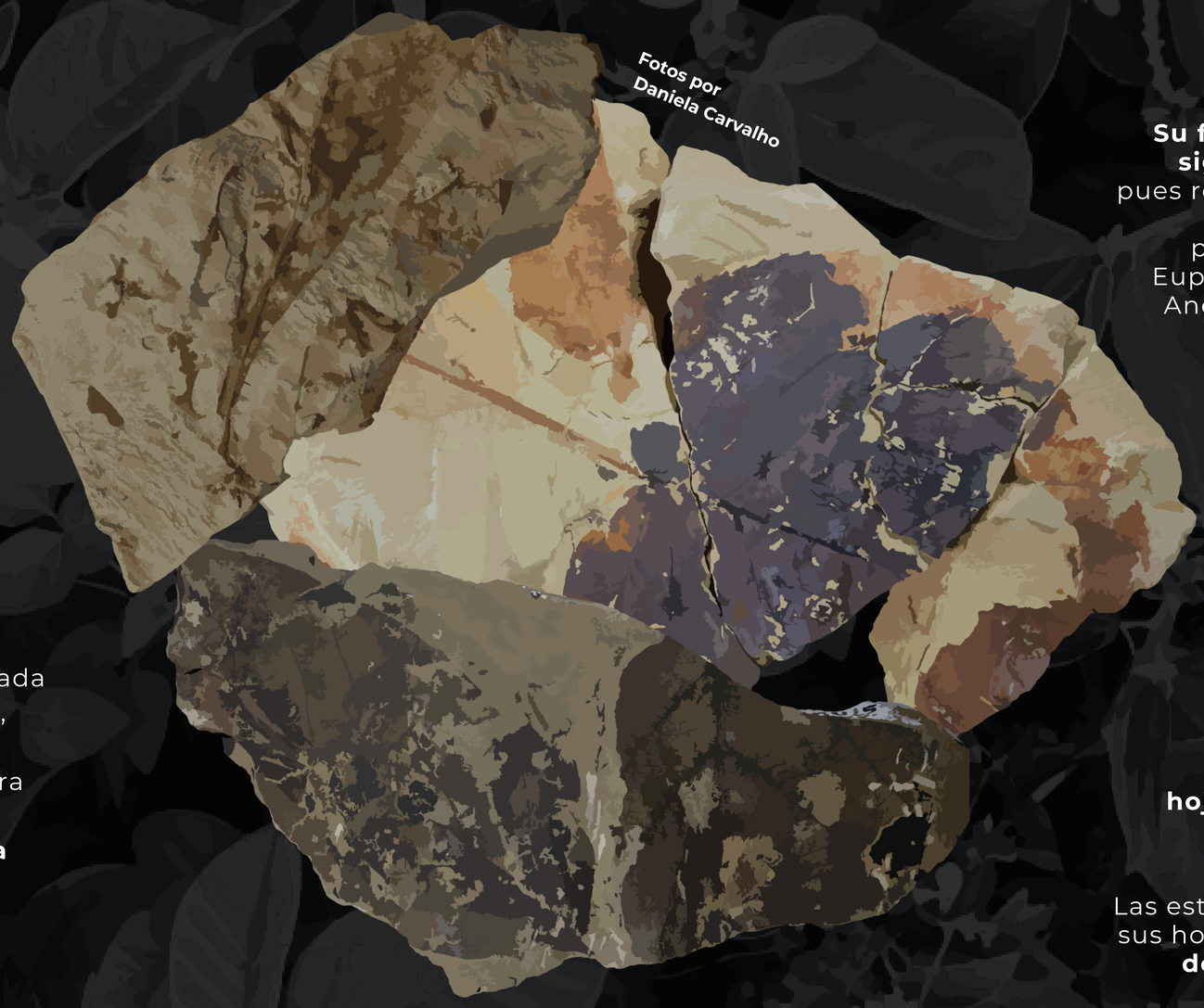
**Los análisis de isótopos de carbono y de densidad en las venas de las hojas indican que era un bosque de dosel cerrado, estratificado y en el cual llovía mucho (2040 a 3040 cm al año),** debido a las diferencias en los porcentajes de 13C, y la presencia de hojas con venas densas.

# LA HISTORIA DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ

La Formación Bogotá es un afloramiento fosilifero que **se encuentra en la Sabana de Bogotá**, entre los 2600 a los 3000 metros sobre el nivel del mar. Esta en su mitad coexiste con el municipio de Nemocón, en el cual se encontró una amplia diversidad de flora fósil.

Al igual que la Formación Cerrejón, esta formación fue datada como **perteneciente al Paleoceno medio-tardío, entre 62 a 56 MA.**

Para la época del Paleoceno, la Formación Bogotá se encontraba alejada al piedemente de la cordillera Central, esto se debe a que los Andes aún no habían realizado su levantamiento para el Paleoceno. Esta se encontraba **ubicada en zonas bajas cercanas a la cuenca amazónica.**



Fotos por Daniela Carvalho

La composición geológica de la Formación indica que **se encontraba en un ecosistema asociado a un río**, hecho que se corrobora con la presencia de fósiles de cocodrilos y tortugas.

**Su flora fósil era dominada de manera significativa por las plantas con flor**, pues representaron un 84% de los registro obtenidos allí. La mayoría de estas proviene de familias como Fabaceae, Euphorbiaceae (familia de la higuerilla), Anonnaceae (familia de la guanábana), Violaceae (familia de las violetas) y Melastomataceae (familia del Sietecueros)

La mayoría de sus hojas eran de márgenes lisos y de tamaños grandes, por lo que se concluye que constituía a un **bosque tropical cálido, húmedo y de dosel cerrado.**

En este bosque **la herbivoría por parte de insectos abundaba en las hojas** de las plantas que lo construían.

Las estimaciones climáticas realizadas con sus hojas indican una **precipitación anual de entre 1820 a 1840 centímetros de agua al año,** una cantidad menor comparada con su análogo en el Cerrejón.

ALIANZA BIOFILIA
Voces para la conservación de la biodiversidad

# LA FORMACIÓN ESMERALDAS Y EL BOSQUE SECO TROPICAL

La formación esmeraldas se encuentra en la **parte occidental de la Cordillera Oriental** en Santander. Ubicada en el área del embalse de Toporoco, cerca a la vía que va desde Bucaramanga a Barrancabermeja.

**Fue explorada por primera vez en 2013** como parte de un esfuerzo de recuperación paleontológica liderado por el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Isagen y el Servicio Geológico Colombiano.

Las muestras colectadas en 2013 y 2015 permitieron datar la edad de las plantas de Esmeraldas. Este era un **bosque seco tropical ligado a un cuerpo de agua como un río o lago** y es originario del **Eoceno medio a tardío** (entre 47.3 a 33.9 MA).

Fotos por
Daniela Carvalho



**La alta presencia de lianas y árboles con estrategias de dispersión de semillas por aire** ayudaron a reconocer su pasado como un bosque seco tropical, pues dichas especies son características de estos ecosistemas.

Muchas de las muestras de plantas colectadas correspondieron a familias como **Fabaceae**, **Solanaceae** (la familia de la papa), **Passifloraceae** (familia de la Maracuyá) y **Menispermaceae**, todas son familias dominantes en los bosques secos tropicales de la actualidad

Una de las semillas fósiles encontradas en el sitio, identificada como *Passifloroidesperma sogamosense*, fue declarada como **el registro más antiguo para la familia Passifloraceae**



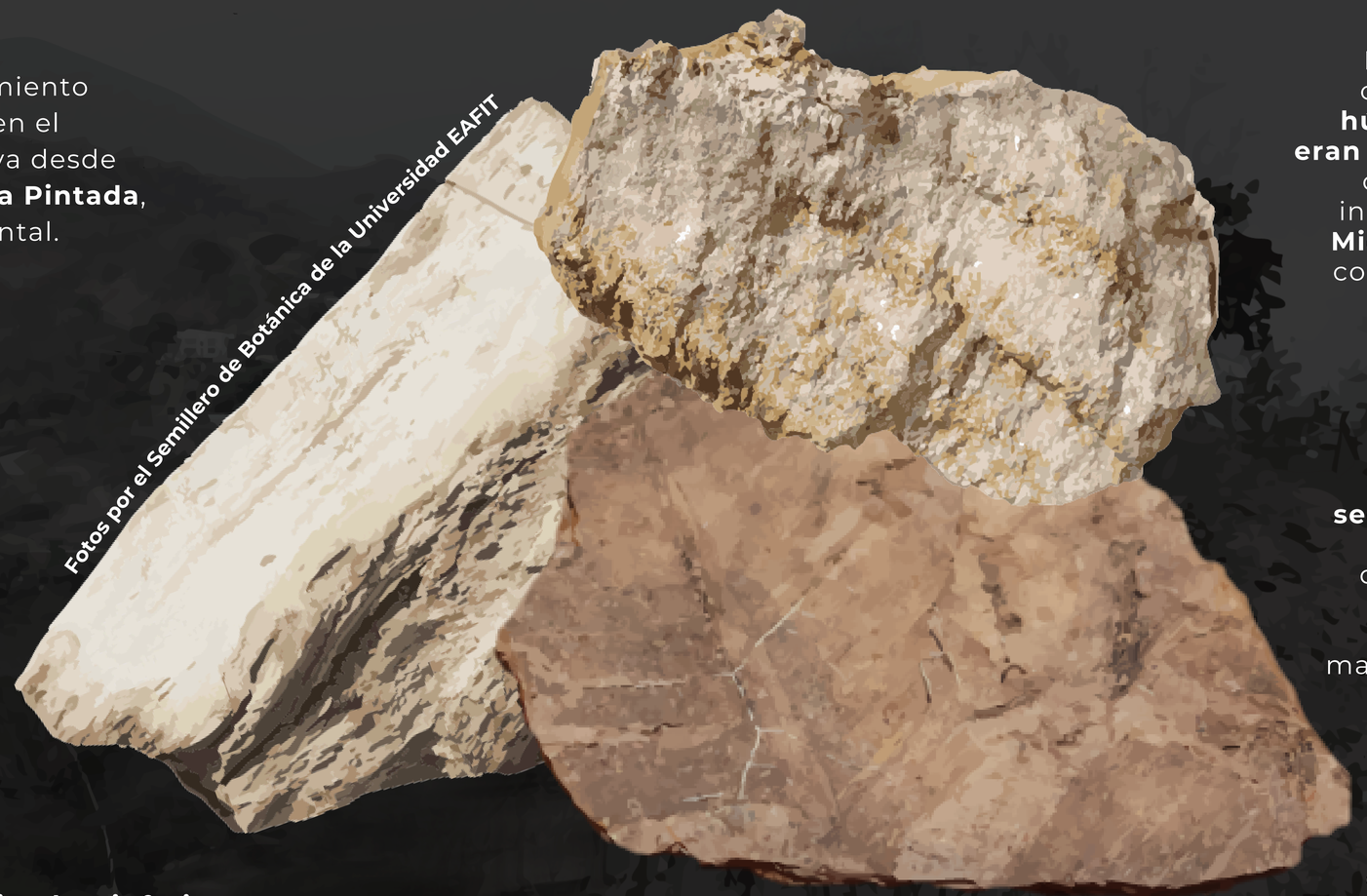
Reconocer que la Formación hace parte del Eoceno es fundamental, pues durante este periodo de tiempo, **se comenzó a desarrollar el modelo climático actual**, ya que la **cantidad de $CO_2$ atmosférico y la temperatura global descendieron**, **al igual que se comenzaron a crear las primeras capas de hielo antártico**. Es por esto que, Esmeraldas funciona como una ventana a una de las épocas geológicas más determinantes para el establecimiento de la diversidad moderna.

ALIANZA BIOFILIA
Voces para la conservación de la biodiversidad

# LA HISTORIA DE LA FORMACIÓN AMAGÁ

La Formación Amagá es un afloramiento fosilifero ampliamente extendido en el departamento de Antioquia. Este va desde **Sopetrán hasta el municipio de La Pintada**, entre las Cordilleras Central y Oriental.

Esta formación **se divide en dos “Miembros” o secciones geológicas con dataciones geológicas diferentes**, y por lo tanto, generan historias diferentes que se complementan entre sí.



Fotos por el Semillero de Botánica de la Universidad EAFIT

El **miembro inferior** se desarrolló en un periodo en el cual hubo una transición de rios meándricos a trenzados, **que coincide con el Oligoceno Tardío (28 a 25 MA).**

El miembro superior se desarrolló en un periodo caracterizado por la **presencia de rios trenzados y data del Mioceno Temprano (23 a 21 MA)**. Esta composición de ríos se veía asociada con un proceso de colisión y levantamiento de placas tectónicas, que **coincide con la unión Centroamérica con Suramérica a través de Panamá**.

Durante el **Oligoceno**, esta zona se caracterizó por conformar **bosques húmedos tropicales y lluviosos que eran atravesados por cuerpos de agua** como lagos, pantanos y llanuras de inundación. Por otro lado, durante el **Mioceno** la Formación Amagá estaba compuesta por **bosques de galería y amplias llanuras de inundación**.

A día de hoy, **sus formaciones son cubiertas por amplios bosques secos tropicales** como en el caso del municipio de Sopetrán, lugar en donde **el semillero de Botánica de la Universidad EAFIT adelanta procesos de investigación**, de la mano de la profesora y paleobotánica Camila Martínez Aguillón.

En general, la mayor evidencia obtenida dentro de esta formación corresponde a **fósiles de polen, seguido por hojas y maderas fósiles**. Esto ha permitido identificar una gran cantidad de individuos que corresponden a familias como Clusiaceae (familia del Mangostino), Goupiaceae, Fabaceae, Malpighiaceae (familia de los Nanches), Arecaceae (la familia de las Palmas), Vitaceae (familia de la uva), entre otras.

Capítulo co-creado con
Diana Karen Pérez Lara

# La Tatacoa: Las plantas del Mioceno

## No siempre fue un “desierto”, su riqueza vegetal abundaba



### Plantas actuales

El “desierto” de la tatacoa, que en realidad está categorizado como un bosque seco tropical espinoso, actualmente es hogar de una amplia variedad de especies de plantas. Además de los **cactus**, allí predominan algunas especies y géneros de la familia **Fabaceae** (familia de los frijoles y los garbanzos), de **Euphorbiaceae** (familia de la yuca) y algunas especies de **pastos** pertenecientes a la familia **Poaceae.**

### Plantas del pasado

Hasta la fecha, se han publicado algunas investigaciones en donde se han identificado algunos tipos de **helechos como los flotantes, del género *Salvinia***. Después de más de 100 años de estudio, la mayor evidencia con respecto a la vida vegetal pasada se encuentra con las maderas fósiles, pues se han encontrado troncos de hasta 8 metros de longitud para familias como **Arecaceae, Clusiaceae, Goupiaceae, Combretaceae y Fabaceae**.



**Foto en microscopio de una madera fósil (Clusiaceae) por Diana Karen Pérez Lara**

### SUS BOSQUES

La evidencia obtenida a partir de fósiles encontrados en sus dos formaciones geológicas (**La Venta y Villavieja**) ha permitido reconstruir el paisaje ancestral de este territorio.

Se cree entonces que **durante la época del Mioceno medio tardío** (entre 16 a 11 MA) el desierto de la tatacoa era de hecho un **bosque húmedo tropical asociado a cuerpos de agua como humedales, y a un gran río similar al Orinoco**, que inundaba temporalmente la tierra, formando algunos cuerpos de agua temporales.

# LA TATACOA Y LA FORMACIÓN LA VENTA

Capítulo co-creado con
Diana Karen Pérez Lara

## Su fama

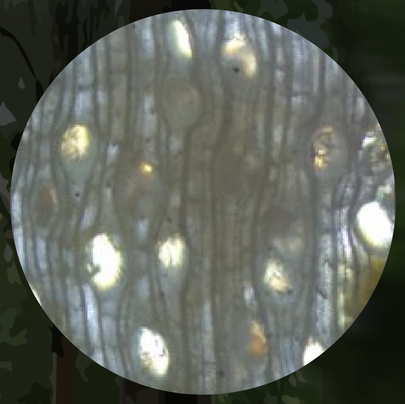
Durante muchos años, la Formación La Venta ha sido reconocida por su riqueza de fauna fósil, que abarca desde **pequeños peces de agua dulce, hasta grandes mamíferos y reptiles.** Sin embargo, la información relacionada a las plantas fósiles de la zona, no es tan abundante.

## ¿Por qué es importante?

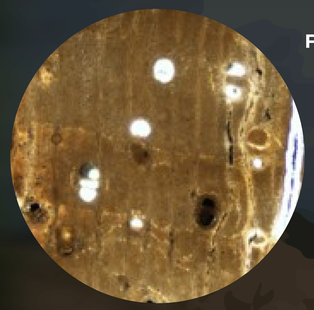
**El título de patrimonio geológico mundial** no es al azar, pues **La Venta hizo parte de un supercomplejo de humedales que no tiene homólogo actual: el Sistema Pebas.** Este era un sistema precursor a la Amazonía, compuesto por cuerpos de agua de baja energía como humedales, pantanos y lagos, que se extendía desde Colombia hasta Brasil y Perú, el cual **construyó un corredor biólogo fundamental para el desarrollo de la biodiversidad amazónica actual.**

**La desaparición de este sistema a causa del levantamiento de los Andes fue lo que permitió la formación del río Amazonas**

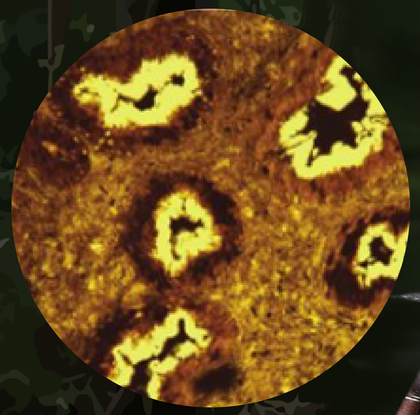
Goupiaceae



Fabaceae



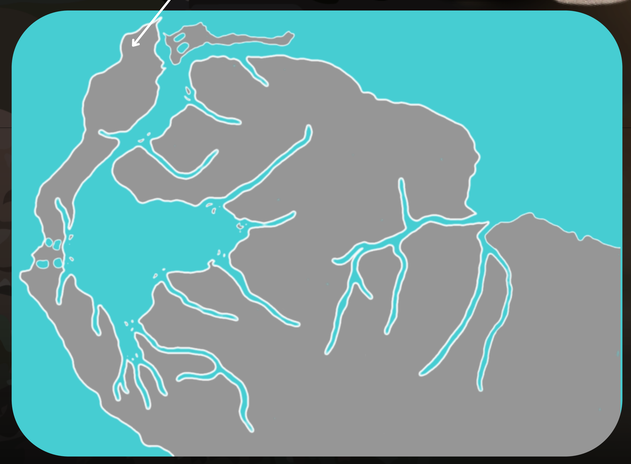
Fotografías por Diana Karen Pérez Lara



Arecaceae



Colombia



Sistema Pebas por Armin Reindl

## El trabajo actual

Desde el 2021 y hasta la actualidad, la estudiante de doctorado Diana Karen Pérez ha dedicado su trabajo a estudiar y reconocer la paleoflora de La Venta. **A lo largo de los 4 salidas de campo, se han podido colectar más de 100 muestras de maderas fósiles del Mioceno**, entre estas se destacan familias como **Arecaceae, Poacaceae (las gramíneas), Clusiaceae, Fabaceae, Goupiaceae y Combretaceae.**

## ¿Qué nos dice esto?

**La paleoflora de La Venta nos revela elementos típicos de los actuales bosques húmedos neotropicales asociados a cuerpos de agua**. Estos bosques a su vez presentaban una gran diversidad de hábitats que variaban en humedad y nivel de agua, permitiendo un mayor rango de especies.

De la misma manera, la presencia de grupos como *Goupia* (Goupiaceae), que tienen una distribución bastante restringida a varias zonas del neotrópico, **indica que en el pasado estos grupos de distribuían ampliamente y que su linaje ha evolucionado bajo condiciones bióticas y abióticas muy diferentes a las actuales.**

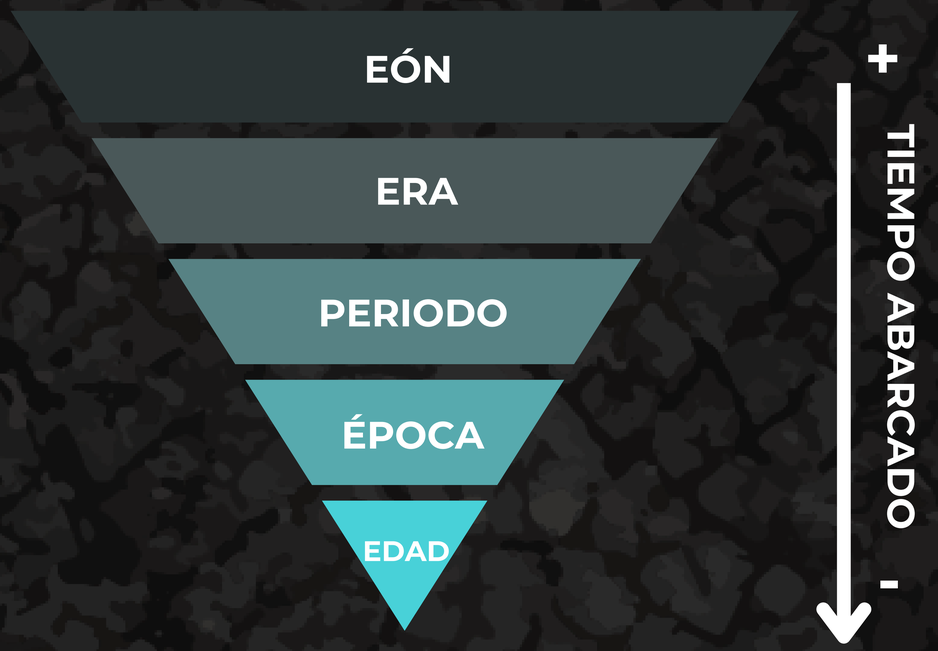
# EL FUTURO DE LA PALEOBOTÁNICA EN COLOMBIA



Mapa geológico de Colombia por el Servicio Geológico Colombiano

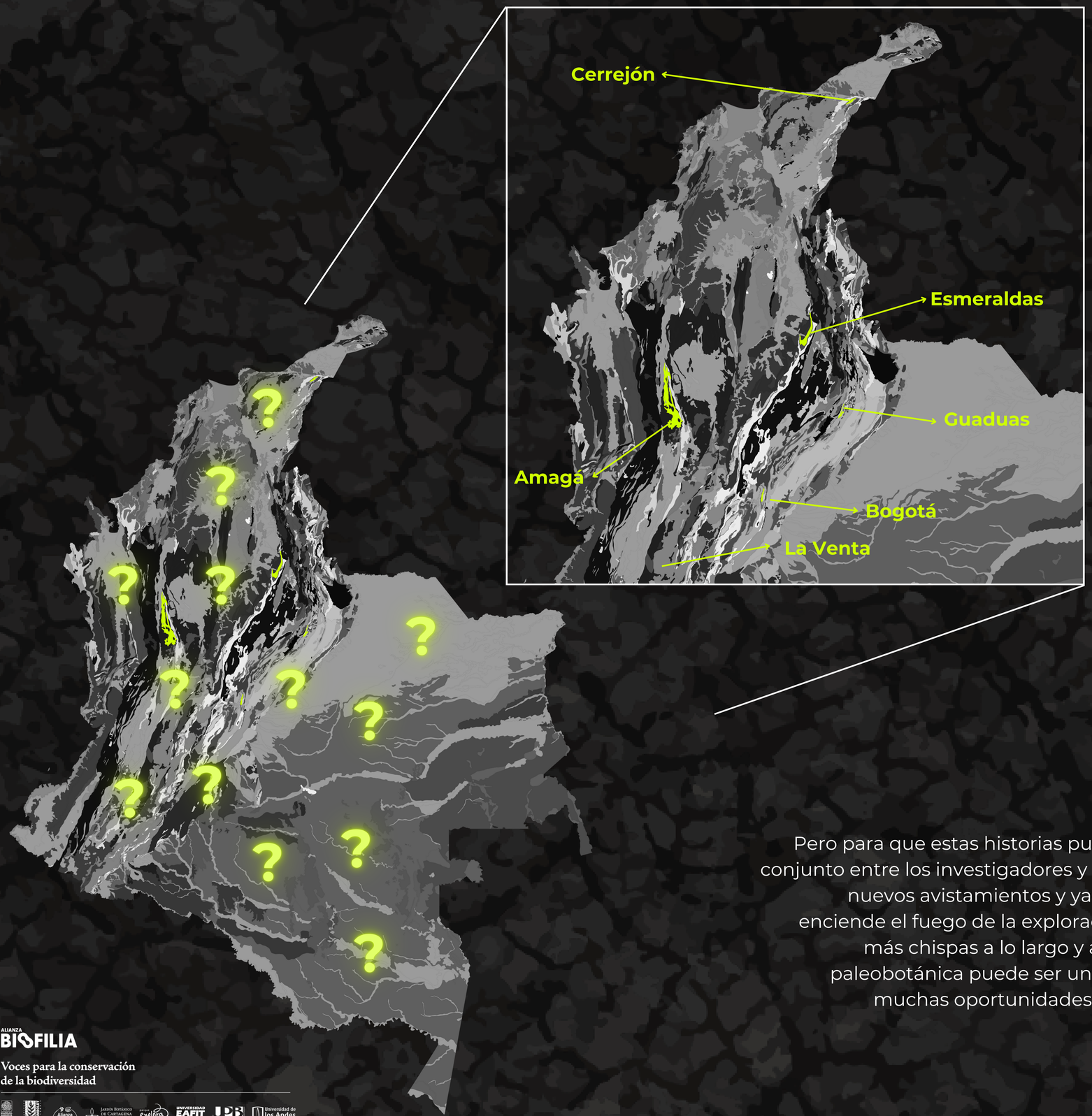
La diversidad geológica de Colombia es innegable, su territorio recorre algunas de los momentos geológicos más interesantes para la historia del planeta, desde grandes periodos de extinción y de diversificación, hasta fragmentos temporalmente más cortos dentro de estos periodos, como las épocas y las edades.

Mapear todo lo anterior a través de un sistema de colores requeriría de una combinación de colores ininteligible, es por ello que en este mapa geológico de Colombia nos hemos enfocado en resaltar las zonas del país según las escalas temporales que mayor información abarcan (**Eón, Era, Periodo, Época**),




| Eón Proterozoico | Era Paleozoica | Periodo Triásico | Periodo Jurásico | Periodo Cretácico | Época del Paleoceno | Época del Eoceno | Época del Oligoceno | Época del Mioceno | Época del Plioceno | Periodo cuaternario |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2050-538 MA | 538,8-251,9 MA | 251,9-201,3 MA | 201,3-145 MA | 145-66 MA | 66-56 MA | 56-33,9 MA | 33,9-23,03 MA | 23,03-5,333 MA | 5,333-2,58 MA | 2,58 MA - Actualidad |

# EL FUTURO DE LA PALEOBOTÁNICA EN COLOMBIA




A pesar de que se han adelantado una gran cantidad de estudios en varias zonas del país, es innegable que el potencial paleobotánico del territorio nacional no ha sido explorado en su totalidad, de hecho, algunas de las formaciones aquí presentadas todavía requieren de exploraciones exhaustivas para poder terminar de reconstruir las historias de sus bosques.

Un ejemplo de ello lo representa la Formación La Venta, en La Tatacoa, pues sus condiciones áridas contribuyen al rápido deterioro del material paleobotánico, haciendo que este sea escaso e invaluable. La responsabilidad de aportar más información para esta zona la ha asumido la candidata a doctor Diana Karen Pérez, quien se encuentra describiendo una serie de maderas fósiles proveniente de La Venta.

Esta misma responsabilidad la asumieron los estudiantes del semillero de botánica de la Universidad EAFIT, quienes ahora mismo dedican sus días a reconstruir de manera fiel los bosques y el clima de la Formación Amagá.

Sin embargo, Colombia todavía posee una gran cantidad de historias botánicas por cortar, que nos permitirían incluso poder retroceder hasta el periodo Ordovícico, que es el momento geológico en el que se cree que aparecieron las primeras plantas terrestres.

Pero para que estas historias puedan ser reconstruidas, es necesario el trabajo en conjunto entre los investigadores y las comunidades, pues su rol como reporteros de nuevos avistamientos y yacimientos fosilíferos funciona como la chispa que enciende el fuego de la exploración paleobotánica. Este libro pretende encender más chispas a lo largo y ancho del territorio nacional, demostrando que la paleobotánica puede ser un tema de interés para todos y que todavía existen muchas oportunidades para aprender acerca de los bosques del pasado.

ALIANZA BIOFILIA
Voces para la conservación de la biodiversidad

La paleobotánica es a las ciencias naturales lo que la historia es a las ciencias humanas. El paleontólogo es un historiador que, en vez de aprender a leer el griego antiguo o a descifrar los símbolos en una tabla de arcilla, aprendió a leer la lengua de las plantas. La naturaleza, *magistra vitae*, descubrió cómo preservar su memoria cientos de millones de años antes de que existiera un humano en la tierra e inventara las vocales y el papel. Los fósiles de plantas, palabras escritas en piedra, son el sistema de escritura más antiguo que existe. Y los paleobotánicos, los traductores de una de las lenguas vivas más viejas.

Este libro es un viaje a la historia de la vida más remota, a un pasado escondido en la tierra, ávido de ser leído como un libro, desenterrado, interpretado. Los ecosistemas diversos y cambiantes del territorio colombiano se revelan aquí a través de un testimonio que viene de lejos, un acertijo al que aún le faltan palabras y que se enuncia como provocación para los curiosos y entusiastas.

En los fósiles de plantas, objetos pacientes y preciosos, se encuentra ese pasado, pero también el presente y el futuro. Es a través de ellos, de los signos que con esfuerzo hemos aprendido a leer, que podemos reconstruir lo que antes fue e imaginar lo que más adelante será. Las plantas son las protagonistas de este libro donde el testigo —hoja, semilla, madera, polen, fruto— habla en voz propia y nos cuenta cómo es que fueron las cosas. Su relato alumbra el pasado y siembra un camino de luces para mirar hacia el futuro.

***Comentarios a propósito de Verde Fósil,***
***por Matilda Lara Viana***

# LITERATURA RECOMENDADA PARA UN PALEOBOTÁNICO


Ajaykumar et al. (2010). Fossil wood: A key to the past

Báez, L., & Trujillo, F. (Eds.). (2014). Biodiversidad en Cerrejón. Carbones de Cerrejón, Fundación Omacha, Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez. Bogotá, Colombia

Boyce y Zwieniecki. (2012). Leaf fossil record suggests limited influence of atmospheric $CO_2$ on terrestrial productivity prior to angiosperm evolution

Brenchley y Harper (1999). Palaeoecology: Ecosystems, Environments and Evolution

Cárdenas, A., Giraldo, J. D., Monterrosa, D., & Weber, M. (2023). Fossil leaves, woods, gastropods, and a crocodile tooth: Is the Amagá Formation worth exploring?. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,* 47(185), 943-951

Carrillo et al., (2023). The Miocene La Venta Biome (Colombia): A century of research and future perspectives

Carpenter, K. (2001). How to make a Fossil: Part 1 -Fossilizing bone. *The journal of Paleontological sciences*

Carvalho et al. (2014). *Insect Leaf-Chewing Damage Tracks Herbivore Richness in Modern and Ancient Forests*

*Carvalho, M. R., Herrera, F. A., Jaramillo, C. A., Wing, S. L., & Callejas, R. (2011).* Paleocene Malvaceae from northern South America and their biogeographical implications. *American Journal of Botany,* 98(8), 1337-1355

Carvalho, M. R., Jaramillo, C., de la Parra, F., Caballero-Rodríguez, D., Herrera, F., Wing, S., Turner, B. L., D'Apolito, C., Romero-Báez, M., Narváez, P., Martínez, C., Gutierrez, M., Labandeira, C., Bayona, G., Rueda, M., Paez-Reyes, M., Cárdenas, D., Duque, Á., Crowley, J. L., Santos, C., ... Silvestro, D. (2021). Extinction at the end-Cretaceous and the origin of modern Neotropical rainforests. *Science* (New York, N.Y.), 372(6537), 63–68

Correa, E., Jaramillo, C., Manchester, S. R., & Gutierrez, M. (2010). A fruit and leaves of Rhamnaceous affinities from the late Cretaceous (Maastrichtian) of Colombia. *American Journal of Botany,* 97(1), 71-79. https://doi.org/10.3732/ajb.090009

Crifò et al. (2014). *Variations in angiosperm leaf vein density have implications for interpreting ife form in the fossil record*

Dilcher, D. L. (1974). Approaches to the identification of angiosperm leaf remains. *The Botanical Review,* 40(1), 1–157. https://doi.org/10.1007/BF02860067

Doria, G., Jaramillo, C. A., & Herrera, F. (2008). Menispermaceae from the Cerrejon Formation, middle to late Paleocene, Colombia. *American journal of botany,* 95(8), 954–973

# LITERATURA RECOMENDADA PARA UN PALEOBOTÁNICO


Draper et al. (2021). *Amazon tree dominance across forest strata*

Escobar C., L. E. (1982). *Estudio palinológico de la formación Amagá. Boletín de Ciencias de la Tierra, (7-8), 117–129.*

*Falcon-Lang. (2011). Fossils explained 61: Fossil wood*

Falcon-Lang. (2005). *Global climate analysis of growth rings in woods, and its implications for deep-time paleoclimate studies*

Falcon-Lang. (2005). *Intra-tree variability in wood anatomy and its implications for fossil wood systematics and palaeoclimatic studies*

Feild et al. (2011). *Fossil evidence for Cretaceous escalation in angiosperm leaf vein evolution*

*Figueroa y Galeano (2007). Checklist of the vascular plants of Andean arid region of la Tatacoa (Huila, Colombia)*

*Fritts, H.C. (1976). Tree Rings and Climate. Academic Press, New York.*

Graham et al. (2014). *Isotopic characteristics of canopies in simulated leaf assemblages*

*Graham, H. V., Herrera, F., Jaramillo, C., Wing, S. L., & Freeman, K. H. (2019). Canopy structure in Late Cretaceous and Paleocene forests as reconstructed from carbon isotope analyses of fossil leaves. Geology, 47(10), 977–981.*

*Gómez, J., Montes, N. E., & Marín, E. (Comp.). (2023). Mapa Geológico de Colombia 2023. (Escala 1:1500000). Servicio Geológico Colombiano.*

*Gómez-Navarro, C., Jaramillo, C., Herrera, F., Wing, S. L., & Callejas, R. (2009). Palms (Arecaceae) from a Paleocene rainforest of northern Colombia†. American Journal of Botany, 96(6), 1300-1312.*

*Gutiérrez, R. M. P., Méndez Méndez, J. V., & Arzate Vázquez, I. (2017). A novel approach to the oral delivery of bionanostructures for systemic disease. In E. Andronescu & A. M. Grumezescu (Eds.), Micro and Nano Technologies: Nanostructures for Oral Medicine (pp. 27-59). Elsevier.*

Herrera, F., Hotton, C. L., Smith, S. Y., Lopera, P. A., Neander, A. I., Wittry, J., Zheng, Y., Heck, P. R., Crane, P. R., & D'Antonio, M. P. (2023). Investigating Mazon Creek fossil plants using computed tomography and microphotography. *Frontiers in Earth Science*, 11, Article 1200976. https://doi.org/10.3389/feart.2023.1200976

Herrera, F., Manchester, S. R., Hoot, S. B., Wefferling, K. M., Carvalho, M. R., & Jaramillo, C. (2011). *Phytogeographic implications of fossil endocarps of Menispermaceae from the Paleocene of Colombia. American journal of botany, 98(12), 2004–2017.*

# LITERATURA RECOMENDADA PARA UN PALEOBOTÁNICO


Howell, M. M., Gossmann, R., & Gee, C. T. (2022). A modified, step-by-step procedure for the gentle bleaching of delicate fossil leaf cuticles. *Fossil Imprint,* 78(2), 445–450.

Jaramillo et al. (2007). *The Palinology of the Cerrejón Formation (Upper Paleocene) of Northern Colombia*

Jaramillo, C., Punyasena, S. W., de Alba, D., Alveo, R., Arcila, A., Bermudez, J., Bustos, J., Caballero-Rodriguez, D., Cardenas, K., Caro, D., Carvajal, F., Castañeda, M., Chaves, S., D'Apolito, C., Diaz-Jaramillo, A., Diaz, L., Gomez, L., León-Carreño, M., Lopera, P., . . . Wood, T. (2025). Digitizing collections to unlock the full potential of palynology: A case study with the Smithsonian palynology collection. *Plants, People, Planet*, 1-16.

Kouwenberg, L. L. R., Hines, R. R., & McElwain, J. C. (2007). A new transfer technique to extract and process thin and fragmented fossil cuticle using polyester overlays. Review of Palaeobotany and Palynology, 145(3–4), 243-248. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.11.002

Kumari, S., & Phogat, D. (2018). Study about Fossil & Fossilization process importance and types of Fossils plants. *Universal Research Reports*, 5(3), 63–67.

Lara, M., Salazar-Franco, A. M., & Silva-Tamayo, J. C. (2018). Provenance of the Cenozoic siliciclastic intramontane Amagá Formation: Implications for the early Miocene collision between Central and South America. Sedimentary Geology, 373, 147-162. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.06.003.

Lehejcek et al. (2017). Wood anatomy of Juniperus communis: a promising proxy for palaeoclimate reconstructions in the Arctic

Li et al. (2018). The molecular structure of plant sporopollenin

Lindström. (2016). Palynofloral patterns of terrestrial ecosystem change during the end-Triassic event – a review

Martínez, C., Carvalho, M. R., Madriñán, S., & Jaramillo, C. A. (2015). A Late Cretaceous Piper (Piperaceae) from Colombia and diversification patterns for the genus. American journal of botany, 102(2), 273–289. https://doi.org/10.3732/ajb.1400427

Martínez C. (2017). Passifloraceae seeds from the late Eocene of Colombia. American journal of botany, 104(12), 1857–1866.

Martínez, C. (2018). Dalbergieae (Fabaceae) Samara Fruits from the Late Eocene of Colombia. International Journal of Plant Sciences, 179(7), 541-553.

Martínez, C., Jaramillo, C., Martínez-Murcia, J., Crepet, W., Cárdenas, A., Escobar, J., Moreno, F., Pardo-Trujillo, A., & Caballero-Rodríguez, D. (2021). Paleoclimatic and paleoecological reconstruction of a middle to late Eocene South American tropical dry forest. Global and Planetary Change, 205, 103617.

McElwain, J. C., & Steinthorsdottir, M. (2017). Paleoecology, Ploidy, Paleoatmospheric Composition, and Developmental Biology: A Review of the Multiple Uses of Fossil Stomata. Plant Physiology, 174(2), 650–664. https://doi.org/10.1104/pp.17.00204

# LITERATURA RECOMENDADA PARA UN PALEOBOTÁNICO


Messager, E., Lordkipanidze, D., Ferring, C. R., & Deniaux, B. (2008). Fossil fruit identification by SEM investigations: A tool for palaeoenvironmental reconstruction of the Dmanisi site, Georgia. Journal of Archaeological Science, 35(10), 2715-2725

Mustoe, G. (2002). Eocene Ginkgo leaf fossils from the Pacific Northwest. Canadian Journal of Botany, 80(10), 1078-1087

Pallardy. (2008). Physiology of Woody Plants (Third Edition)

Pardo-Trujillo, A., Plata-Torres, A., Ramírez, E., et al. (2023). Eocene to Miocene palynology of the Amagá Basin (Cauca Valley, Colombia) compared to the Caribbean Region. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 47(185), 925-942. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1921

Parker y Brown (2000). Forest Canopy Stratification—Is It Useful?

Peppe et al. (2011). Sensitivity of leaf size and shape to climate: global patterns and paleoclimatic applications

Peppe et al. (2018). Methods in Paleoecology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments: Chapter 13: Reconstructing Paleoclimate and Paleoecology Using Fossil Leaves

Pérez-Consuegra, N., Cuervo-Gómez, A., Martínez, C., Montes, C., Herrera, F., Madriñán, S., & Jaramillo, C. (2017). Paleogene Salvinia (Salviniaceae) from Colombia and their paleobiogeographic implications. Review of Palaeobotany and Palynology, 246, 85-108

Pérez-Lara, D. K., Martínez, C., Pizano, C., Jaramillo, C., Vásquez, V. (2024). A Late Holocene Lecythidaceae wood record from Valle del Cauca, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 48(189), 922-935

Pires, E. F., & Guerra-Sommer, M. (2011). Growth ring analysis of fossil coniferous woods from early cretaceous of Araripe Basin (Brazil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, 83(2), 409-423

Roth-Nebelsick y Konrad. (2018). Fossil leaf traits as archives for the past — and lessons for the future?

Schachat et al. (2023). Linking host plants to damage types in the fossil record of insect herbivory

Schönenberger, J. (2005). Rise from the ashes – the reconstruction of charcoal fossil flowers. Trends in Plant Science, 10(9), 436-443. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.07.006

# LITERATURA RECOMENDADA PARA UN PALEOBOTÁNICO


Messager, E., Lordkipanidze, D., Ferring, C. R., & Deniaux, B. (2008). Fossil fruit identification by SEM investigations: A tool for palaeoenvironmental reconstruction of the Dmanisi site, Georgia. Journal of Archaeological Science, 35(10), 2715-2725

Mustoe, G. (2002). Eocene Ginkgo leaf fossils from the Pacific Northwest. Canadian Journal of Botany, 80(10), 1078-1087

Pallardy. (2008). Physiology of Woody Plants (Third Edition)

Pardo-Trujillo, A., Plata-Torres, A., Ramírez, E., et al. (2023). Eocene to Miocene palynology of the Amagá Basin (Cauca Valley, Colombia) compared to the Caribbean Region. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 47(185), 925-942. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1921

Parker y Brown (2000). Forest Canopy Stratification—Is It Useful?

Peppe et al. (2011). Sensitivity of leaf size and shape to climate: global patterns and paleoclimatic applications

Peppe et al. (2018). Methods in Paleoecology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments: Chapter 13: Reconstructing Paleoclimate and Paleoecology Using Fossil Leaves

Pérez-Consuegra, N., Cuervo-Gómez, A., Martínez, C., Montes, C., Herrera, F., Madriñán, S., & Jaramillo, C. (2017). Paleogene Salvinia (Salviniaceae) from Colombia and their paleobiogeographic implications. Review of Palaeobotany and Palynology, 246, 85-108.

Pérez-Lara, D. K., Martínez, C., Pizano, C., Jaramillo, C., Vásquez, V. (2024). A Late Holocene Lecythidaceae wood record from Valle del Cauca, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 48(189), 922-935

Pires, E. F., & Guerra-Sommer, M. (2011). Growth ring analysis of fossil coniferous woods from early cretaceous of Araripe Basin (Brazil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, 83(2), 409-423

Roth-Nebelsick y Konrad. (2018). Fossil leaf traits as archives for the past — and lessons for the future?

Schachat et al. (2023). Linking host plants to damage types in the fossil record of insect herbivory

Schönenberger, J. (2005). Rise from the ashes – the reconstruction of charcoal fossil flowers. Trends in Plant Science, 10(9), 436-443. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.07.006

# LITERATURA RECOMENDADA PARA UN PALEOBOTÁNICO


Schönenberger, J., Friis, E. M., Crane, P. R., Pedersen, K. R., & Crane, S. R. (2001). Fossil flowers of ericalean affinity from the Late Cretaceous of Southern Sweden. American Journal of Botany, 88(4), 467–480

Schweingruber, F. H., & Börner, A. (2018). Fossilization, permineralization, coalification, carbonization and wet wood conservation. In The Plant Stem: A Microscopic Aspect (pp. 183-192). Springer International Publishing

Silva–Tamayo, J. C., Lara, M., & Salazar–Franco, A. M. (2020). Oligocene – Miocene coal-bearing successions of the Amagá Formation, Antioquia, Colombia: Sedimentary environments, stratigraphy, and tectonic implications. In J. Gómez & D. Mateus–Zabala (Eds.), The Geology of Colombia, Volume 3 Paleogene – Neogene (pp. 331–353). Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 37. Bogotá

Taylor, T. N., Krings, M., & Taylor, E. L. (2015). How Fungal Fossils Are Formed and Studied. In Fossil Fungi (pp. 13-26). Academic Press.

Taylor, E. L., & Ryberg, P. E. (2007). Tree growth at polar latitudes based on fossil tree ring analysis. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 255(3-4), 246-264

Urban, M., Barclay, R., Sivaguru, M., & Punyasena, S. (2018). Cuticle and Subsurface Ornamentation of Intact Plant Leaf Epidermis Under Confocal and Superresolution Microscopy. Microscopy Research and Technique, 81(1), 10–19

Velázquez (2014). Atlas palinológico de la flora vascular paramuna de Colombia: Angiospermae

Wang et al. (2021). Differential responses of forest strata species richness to paleoclimate and forest

Wiemann y Manchester.(1999). Paleotemperature Estimation from Dicotyledonous Wood Anatomical Characters

Wilf. (2008). Insect-damaged fossil leaves record food web response to ancient climate change and extinction

Wing, S. L., Herrera, F., Jaramillo, C. A., Gómez-Navarro, C., Wilf, P., & Labandeira, C. C. (2009). Late Paleocene fossils from the Cerrejón Formation, Colombia, are the earliest record of Neotropical rainforest. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(44), 18627-18632

Wheeler y Bass. (1998). Wood Identification - a review

Wheeler. (2011). InsideWood – A Web Resource For Hardwood Identification

Zhang, X., Royer, D. L., Colombi, C. E., Drovandi, J. M., McElwain, J. C., Guignard, G., Leng, Q., Lomax, B. H., Sheldon, N. D., Stein, R. A., Upchurch, G. R., Wang, Y., Yang, H., Barclay, R. S., Cui, Y., Kürschner, W., Milligan, J. N., Montañez, I., Richey, J. D., Reichgelt, T., Shi, G., Smith, S. Y., Steinthorsdottir, M., & Kürschner, W. (2025). Fossil leaf cuticle: Best practices for preparation and paleo-$CO_2$ analysis. Earth-Science Reviews, 264, Article 105104. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105104

ALIANZA BIOFILIA

# Voces para la conservación de la biodiversidad

---

Instituto amazónico de investigaciones científicas SINCHI

Instituto Humboldt Colombia

Alianza Bioversity & CIAT

Jardín Botánico de Cartagena "Guillermo Piñeres"

Universidad EAFIT — Vigilada Mineducación

Universidad Pontificia Bolivariana — Vigilada Mineducación

Universidad de los Andes

parque explora