

Captura de carbono en el suelo: Una estrategia para la mitigación al Cambio Climático

Luz Adriana Lince Salazar

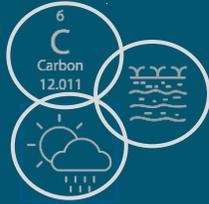
Geóloga e Ingeniera agrónoma M.Sc.

Disciplina de Suelos



Contenido del seminario

Aspectos generales



- Carbono
- Carbono en el suelo
- Clima
- Cambio climático

El carbono en la evolución del clima del planeta



- Paleoclimatología
- Máxima oxidación
- Mayor diversidad de la vida
- Colapso de las Selvas
- Actualidad

Acciones por el clima

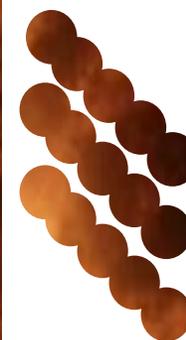


- Decisiones globales
- El suelo como estrategia de mitigación
- Carbono orgánico del suelo desde Cenicafé

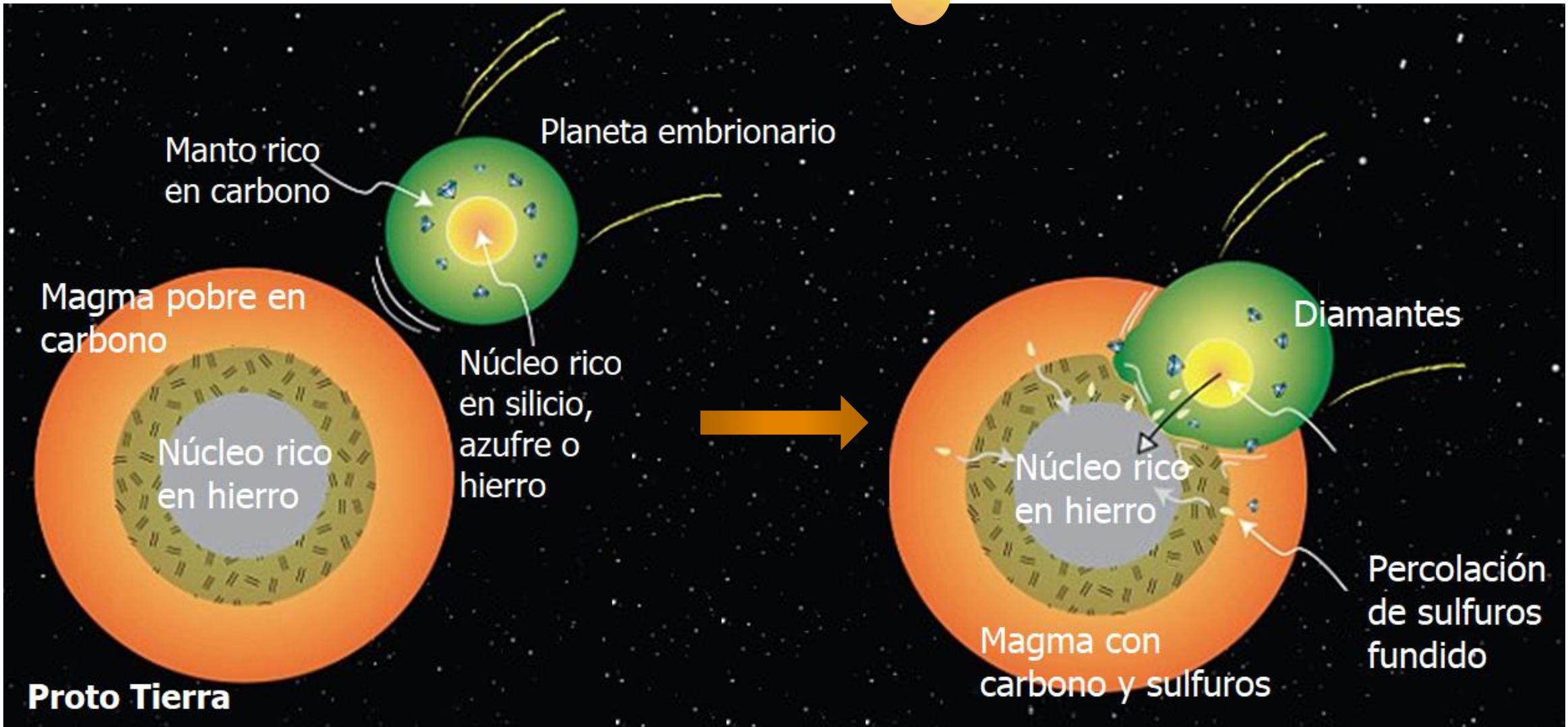
Llegada del carbono a la tierra

Colisión:

4400 millones de años

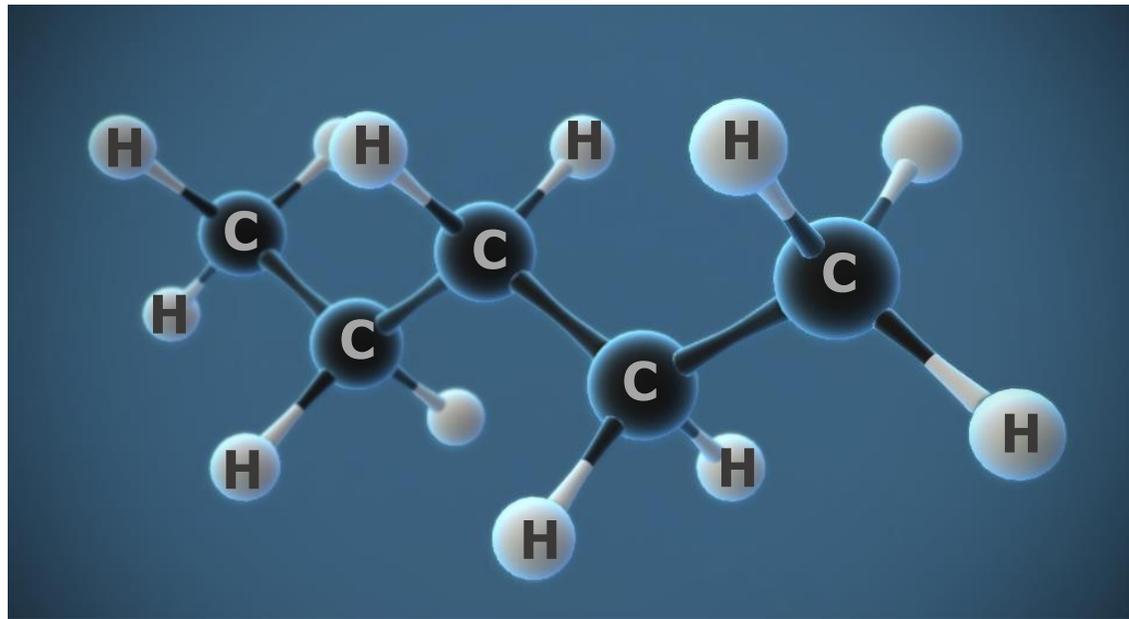


Consecuencia del impacto



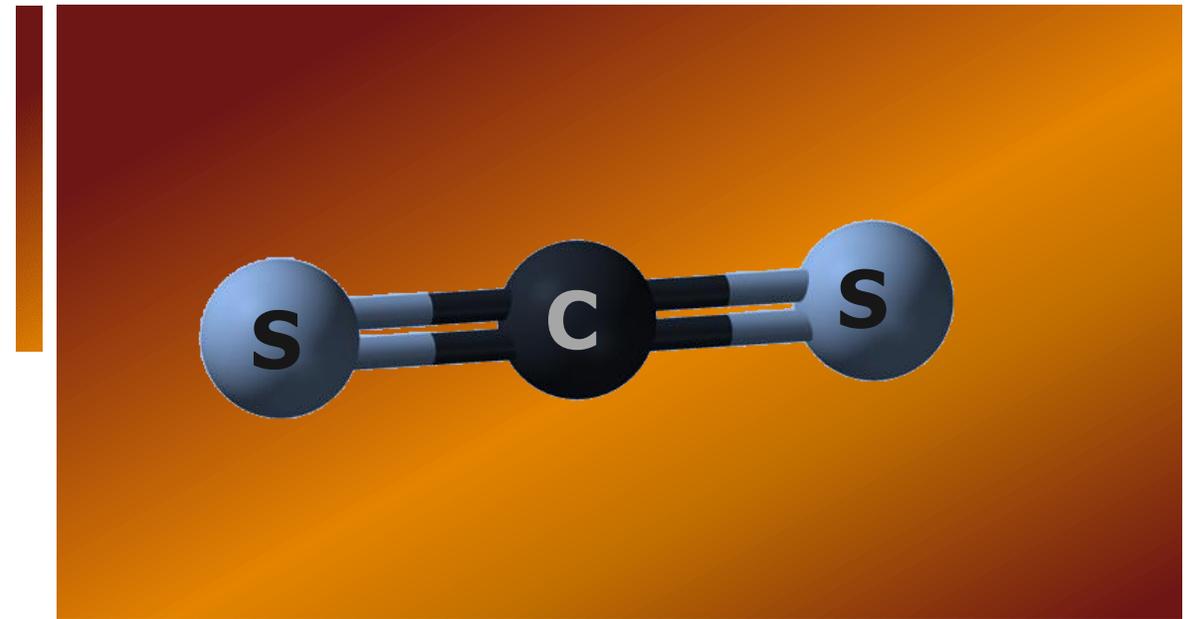
Estructura molecular del carbono en los compuestos

Carbono orgánico



Compleja

Carbono inorgánico



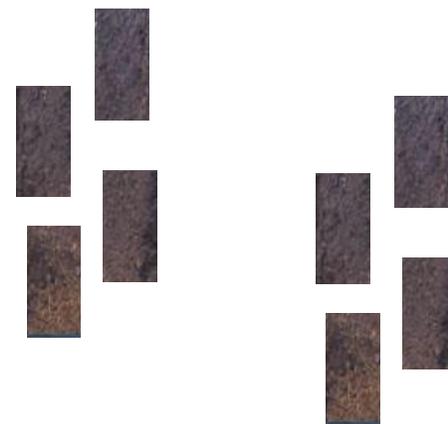
Simple

Carbono orgánico





Carbono orgánico



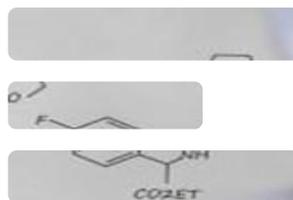
Carbono orgánico



Carbono orgánico

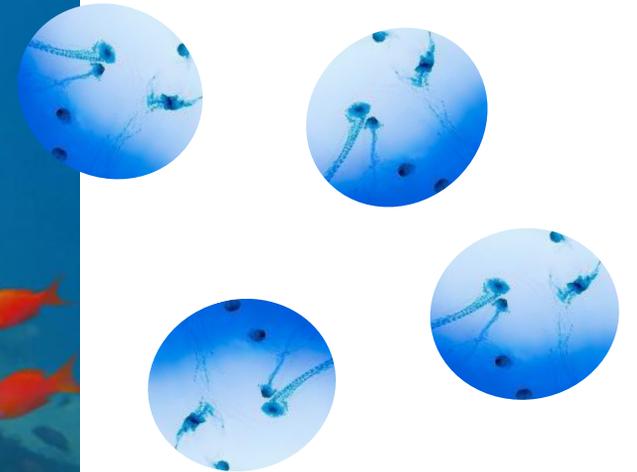


Carbono orgánico



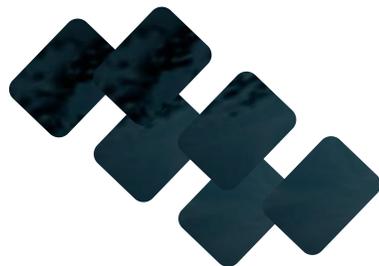


Carbono orgánico





Carbono orgánico



Carbono orgánico





Carbono inorgánico



Carbono inorgánico



Carbono inorgánico



Carbono inorgánico

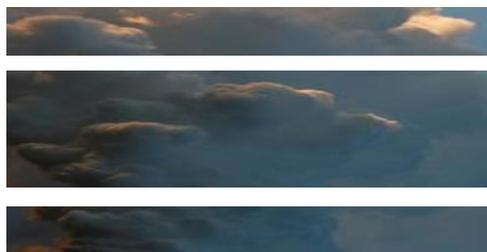




Carbono inorgánico



Carbono inorgánico



Emisiones naturales de CO2: **Respiración,** gases volcánicos y flujos difusos



Imagen: <https://encrypted-tbn2.gstatic.com>

Imagen: <https://media.licdn.com>

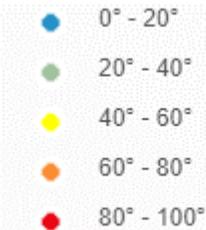
Emisiones naturales de CO₂: Respiración, gases volcánicos y flujos difusos



Volcanes



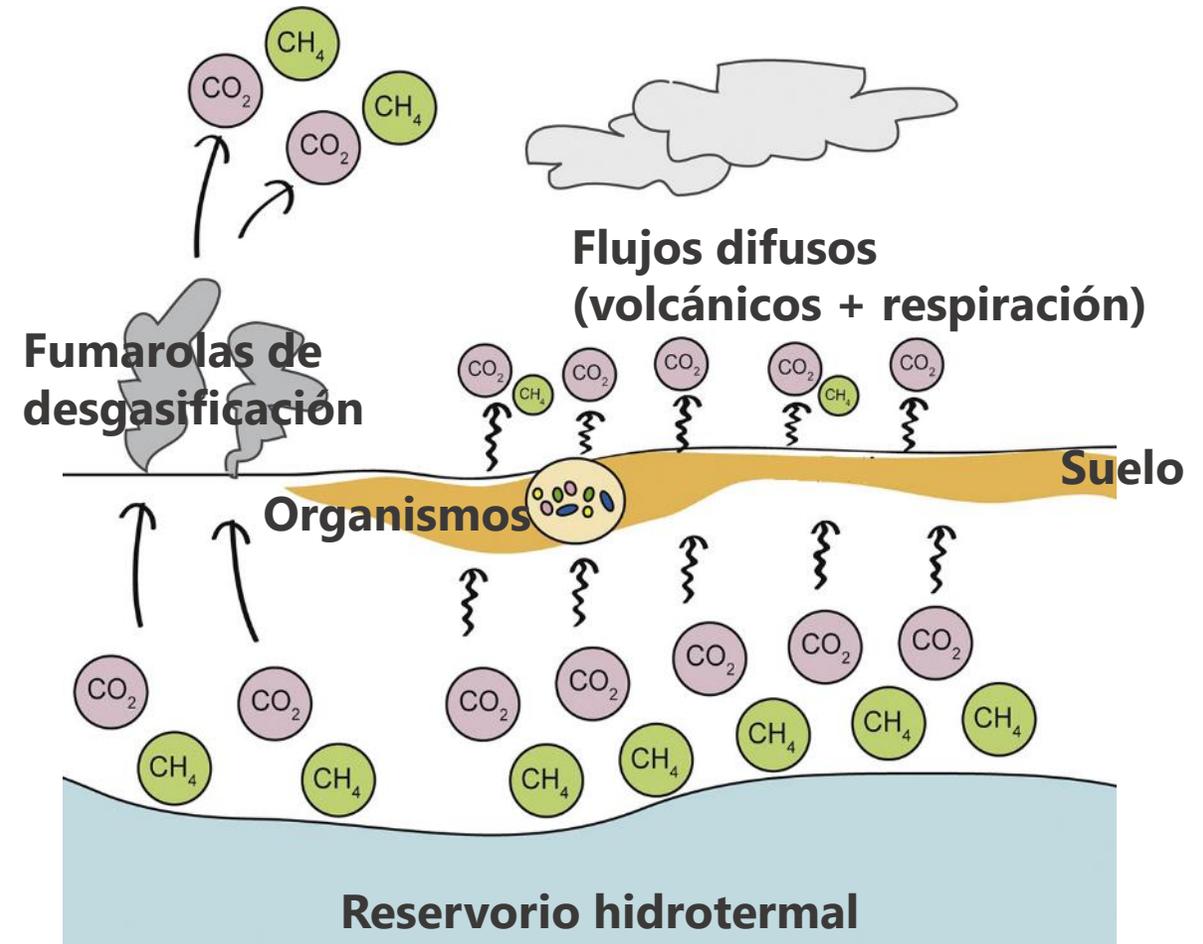
Manantiales termales



Fumarolas

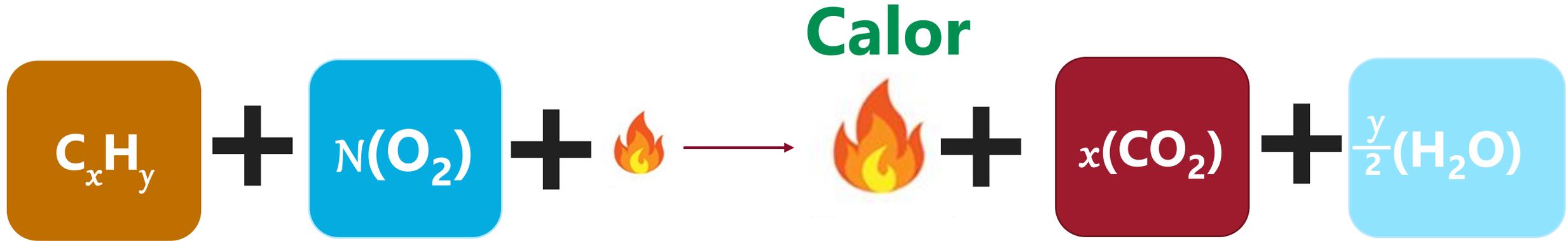


<https://hidrotermales.sgc.gov.co/invermales/>



Venturi et al. (2019). Science of The Total Environment. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.293.

Emisiones antropogénicas de CO₂: Quema de combustibles fósiles



Hidrocarburo

Carbón
Petróleo
Gas natural

Oxígeno

Activador

**Dióxido de
carbono**

**Vapor
de agua**

Entre más larga sea la cadena del hidrocarburo más oxígeno requiere para la combustión y más CO₂ produce

Carbono en la tierra: Reservorios y tiempo promedio de residencia



Atmosfera 830 Gt
4 años

Biosfera terrestre
2.200 Gt



Suelos
1.600 Gt
pocos años a
miles de años

Vegetación
600 Gt
10 años

Litosfera >75.000.000 Gt
100 a – 200 Ma

Océanos 38.000 Gt
400 años



Hidrocarburos
15.000.000 Gt

Rocas sedimentarias
>60.000.000



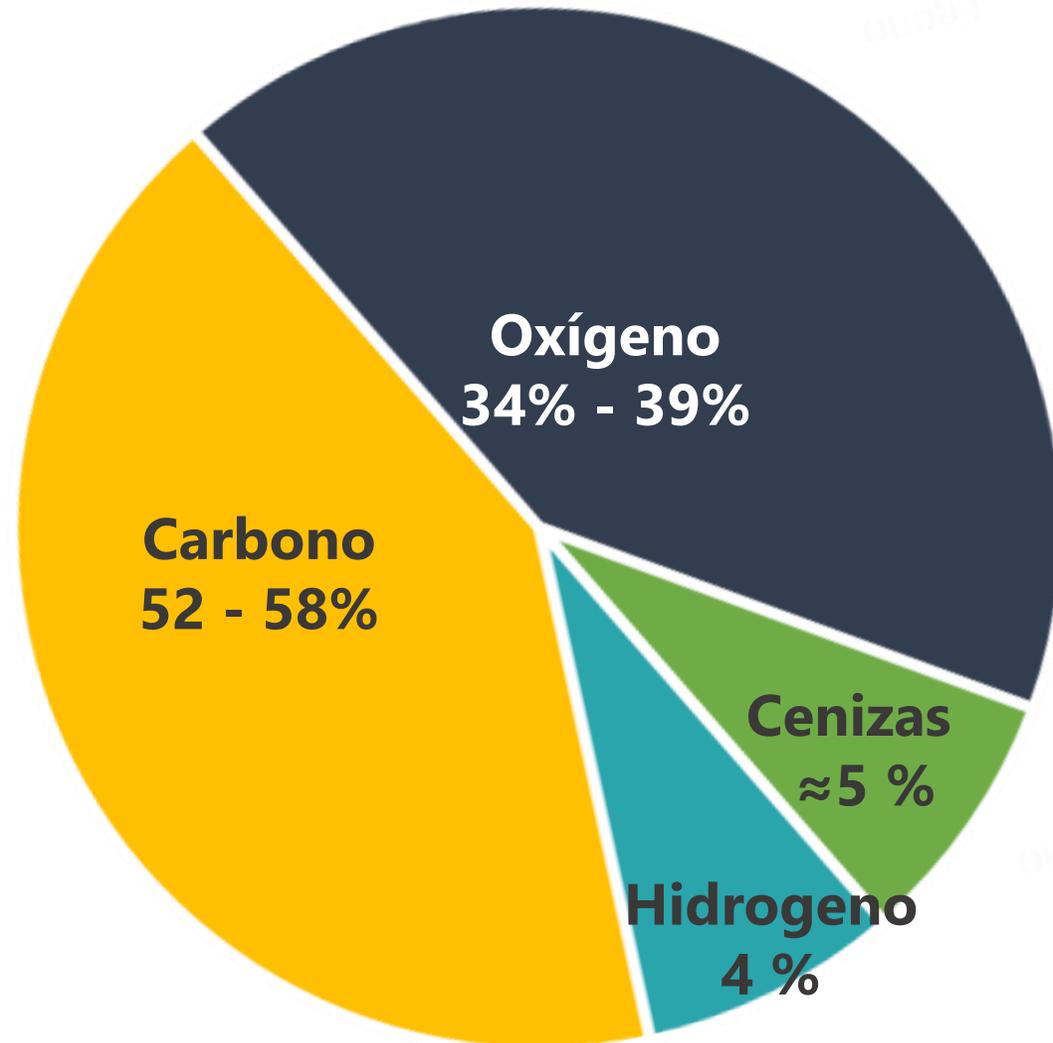
Profundidad 37.000 Gt

Superficie 1.000 Gt

1 Gt = 1000 millones
de toneladas

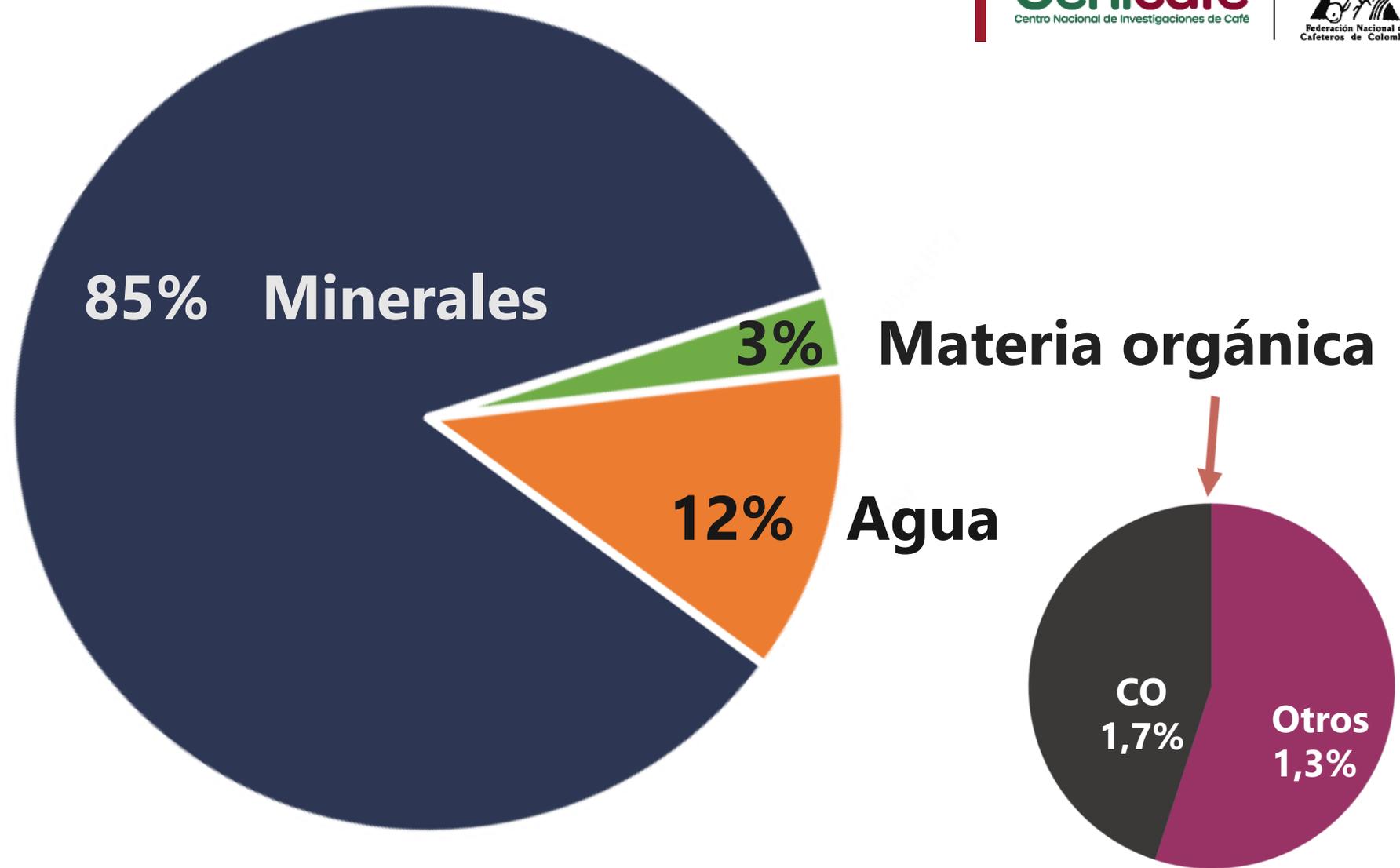
El carbono orgánico en el suelo

Materia orgánica del suelo

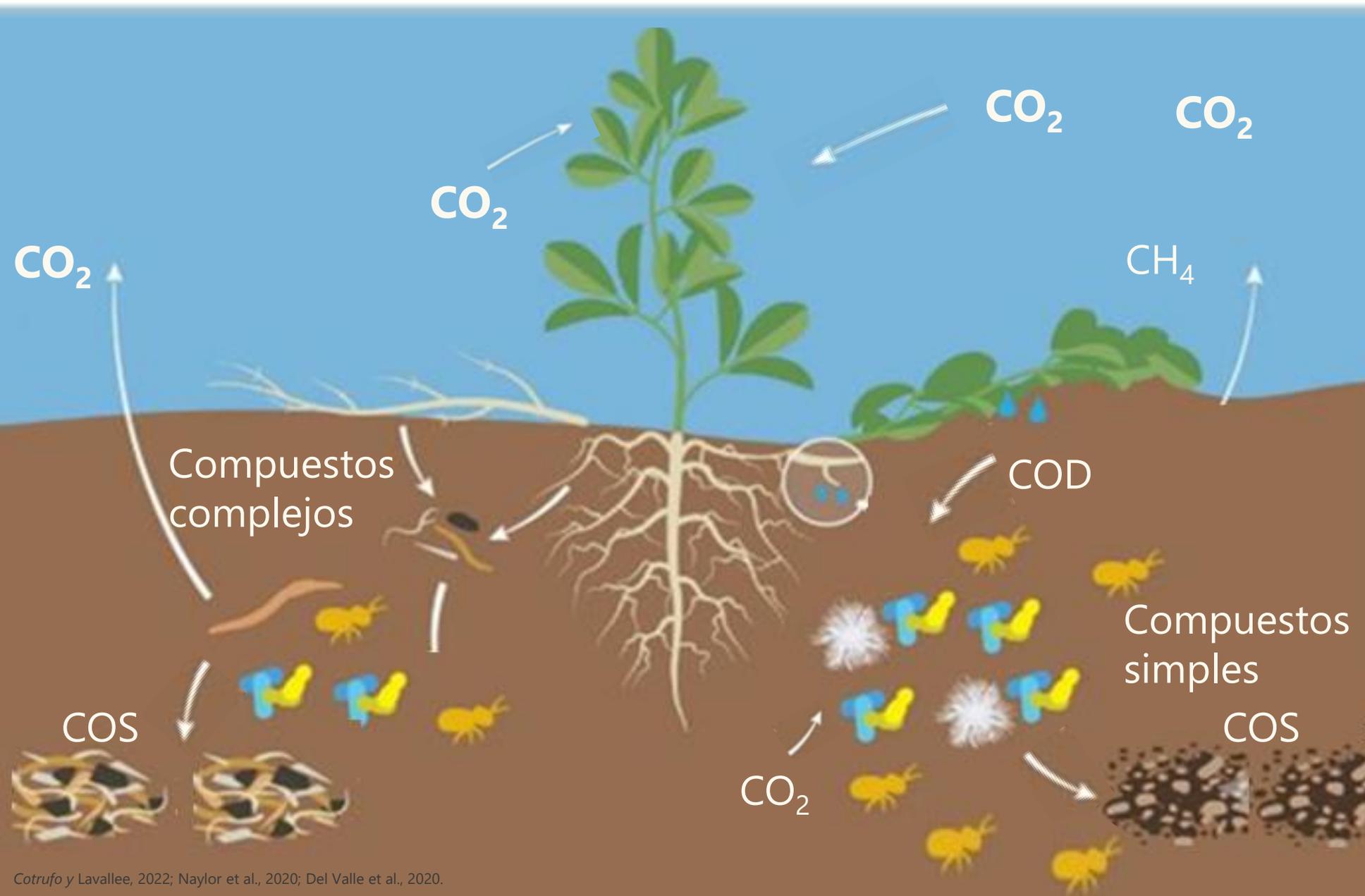


Nota: Esta distribución no es la misma para todos los suelos

Composición en peso de un suelo

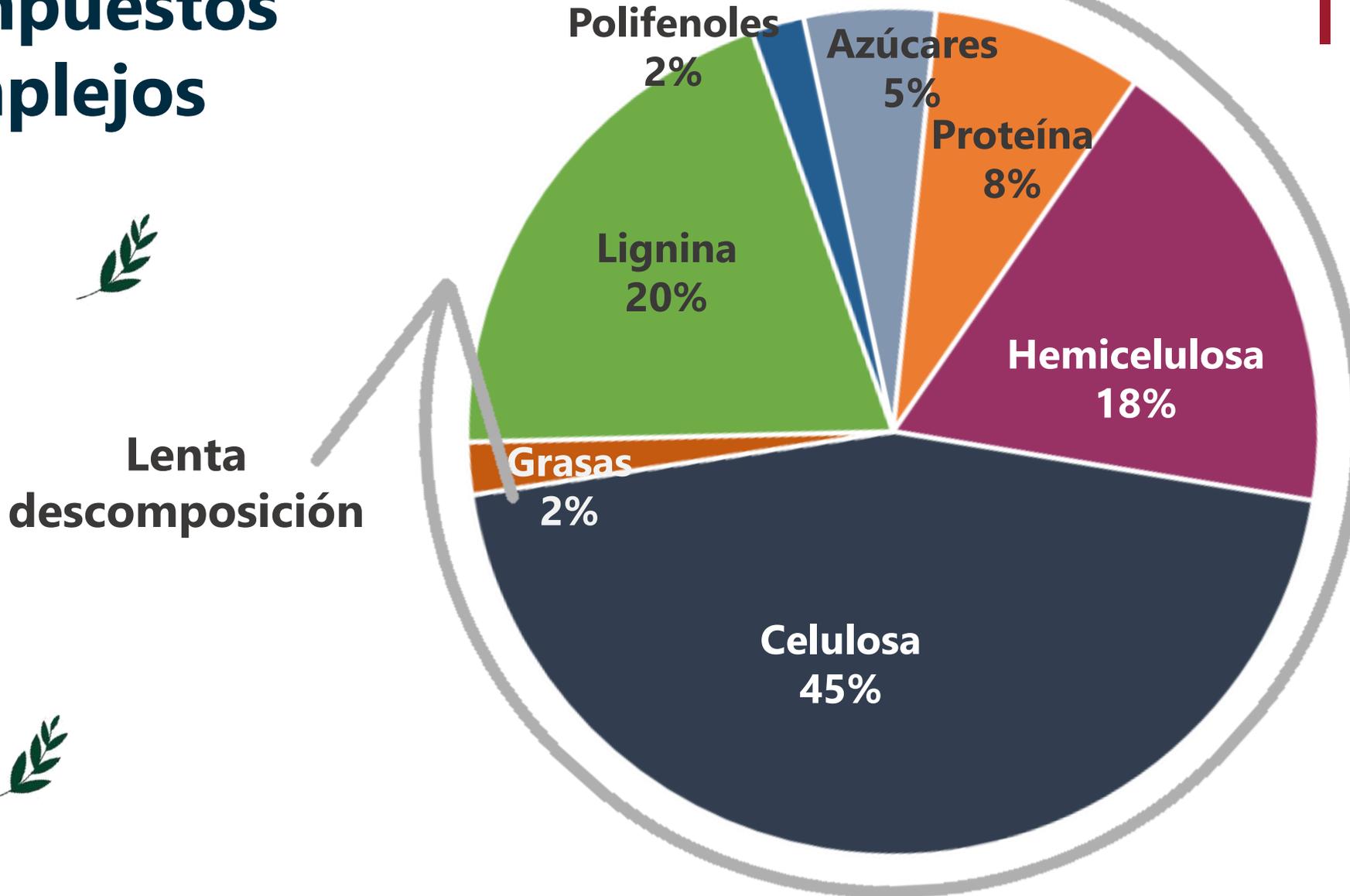


Nota: Esta composición no es la misma para todos los suelos.



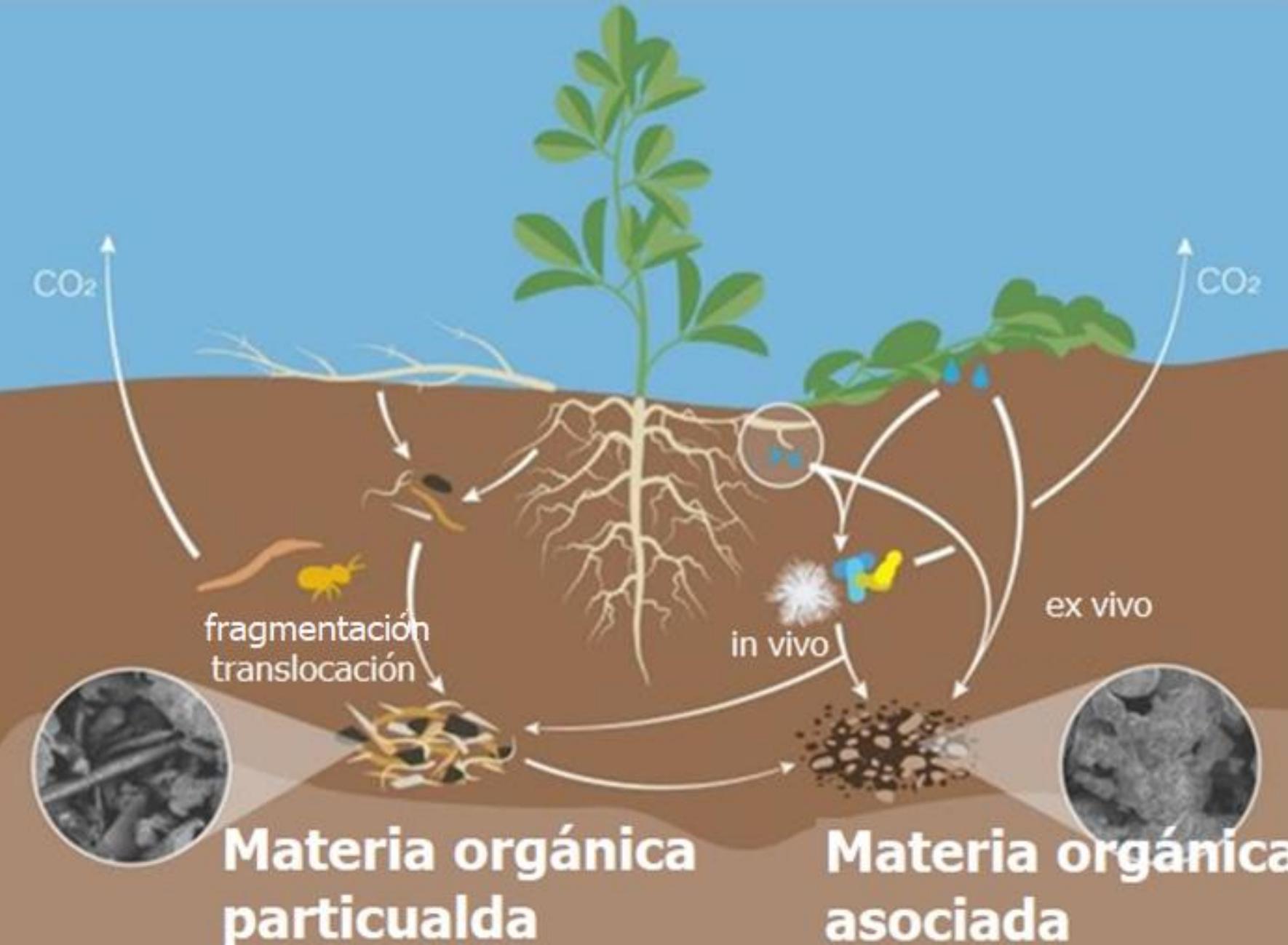
Procedencia de la materia orgánica del suelo

Compuestos complejos



Lenta descomposición

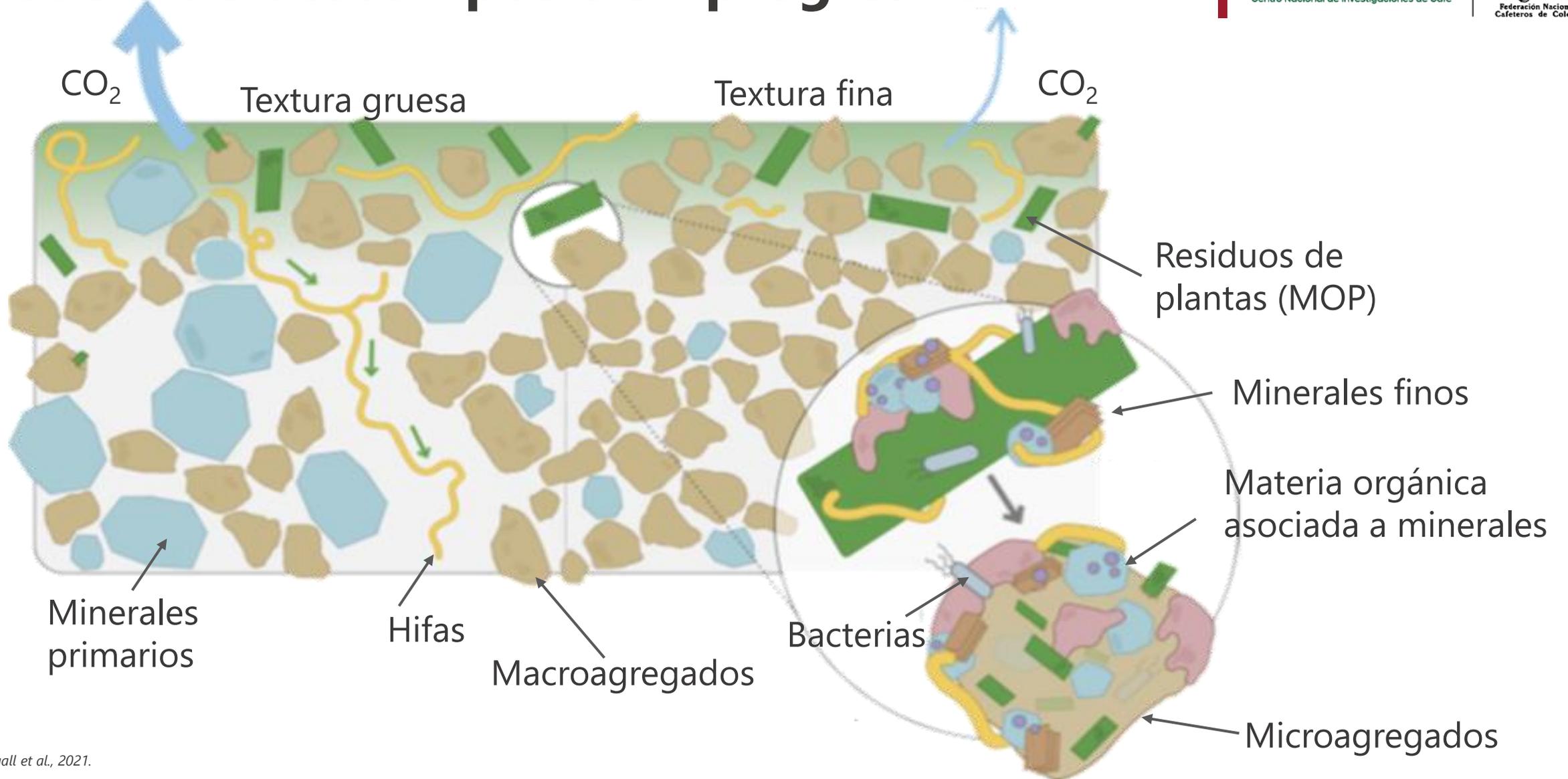
Rápida descomposición



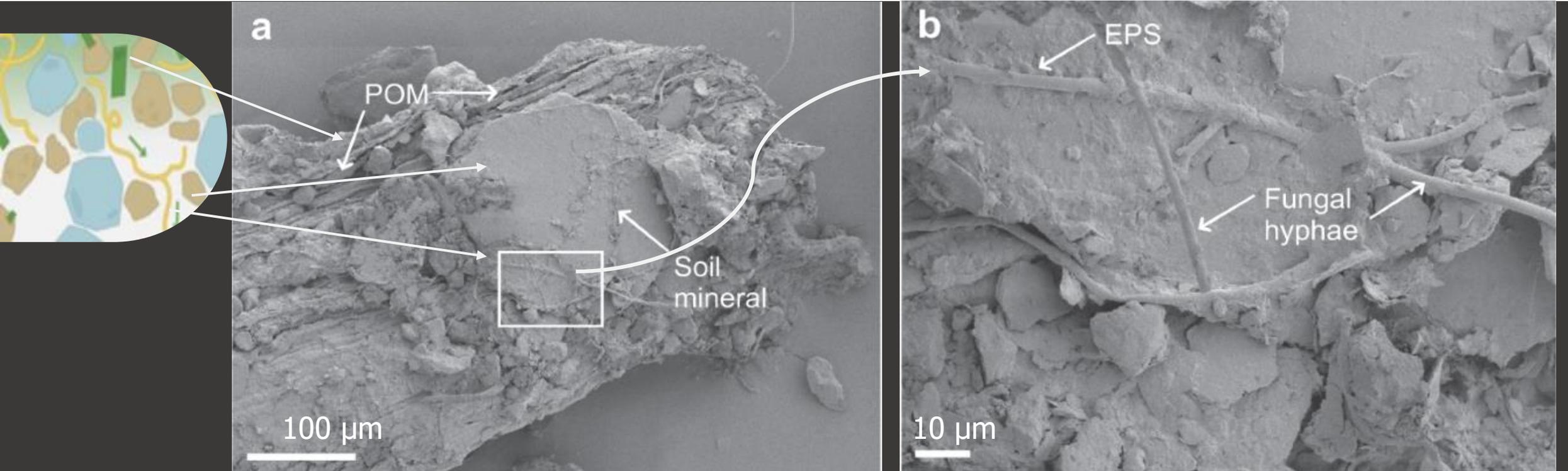
Fracciones de la materia orgánica del suelo

Kleber et al., 2011; Williams et al., 2018; Haddix et al. 2020; Lawrence et al., 2020 ; Lavalley et al., 2020; Witzgall et al., 2021; Georgiou et al., 2022; y Heckman et al., 2022 entre otros

Modelo de descomposición progresiva

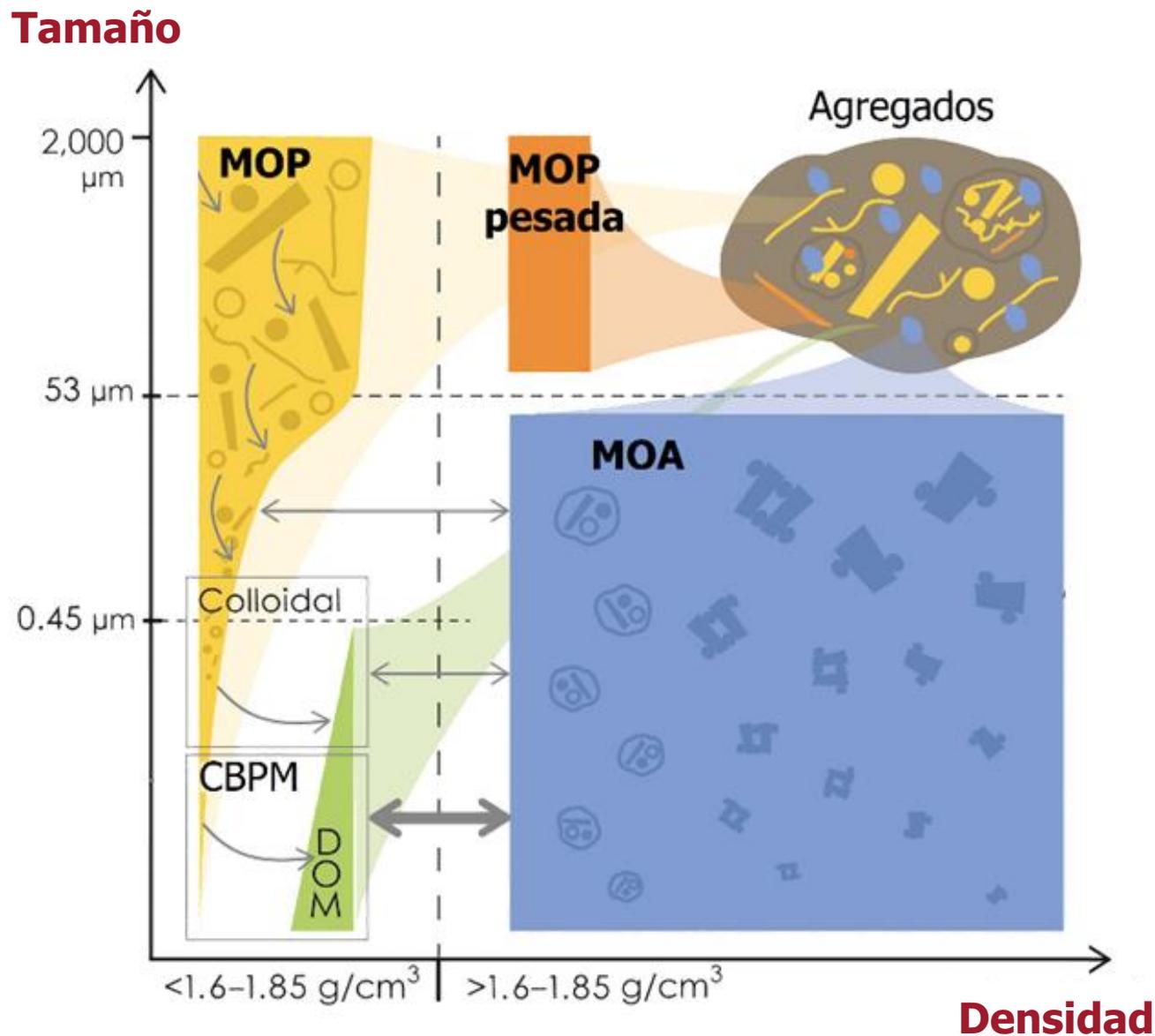


Modelo de descomposición progresiva



POM: Materia orgánica particulada

EPS: Minerales enredados con hifas fúngicas y sustancias poliméricas extracelulares



Fracciones de la materia orgánica del suelo

Particulada (MOP)

Asociada (MOA)

CBPM: compuestos de bajo peso molecular
DOM: materia orgánica disuelta

Fracciones de la materia orgánica del suelo

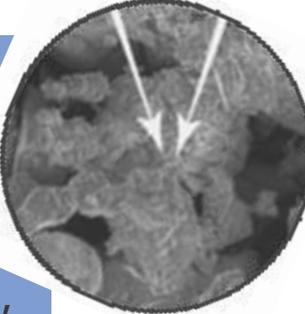
Particulada (MOP)



Relación C:N más alta que la asociada (10 – 40).

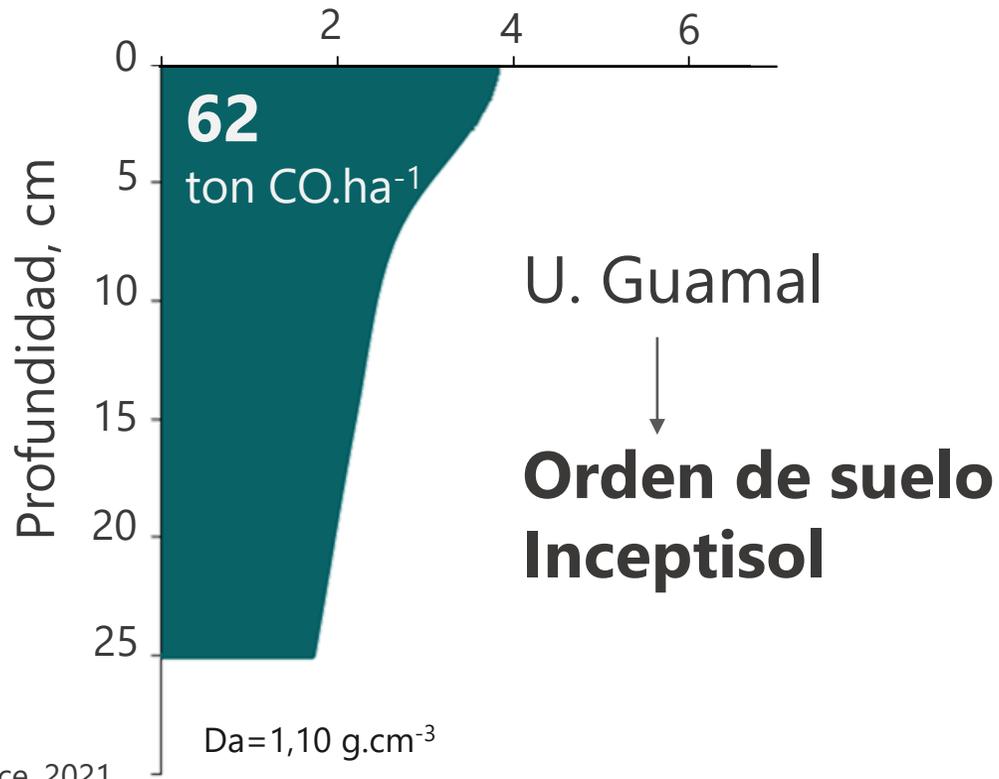
- Contiene compuestos complejos que son poco asimilables por las plantas y los microorganismos.
- El suelo no se puede saturar con este carbono.

Asociada (MOA)

- 
- Relación C:N más baja que la particulada (8 – 13).
 - Mayor densidad de nutrientes, compuestos más simples que son más asimilables para plantas y microorganismos.
 - El suelo se puede saturarse con este carbono.

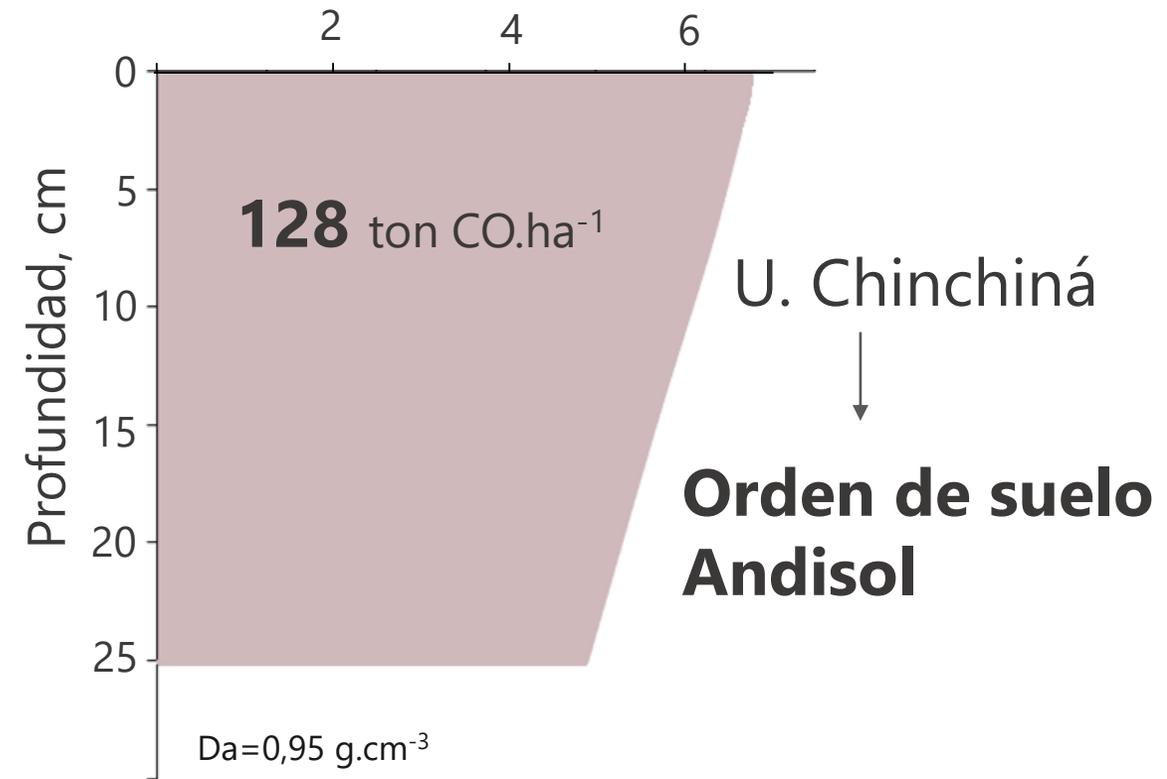
Variación del contenido de carbono orgánico del suelo

Contenido de carbono orgánico, %

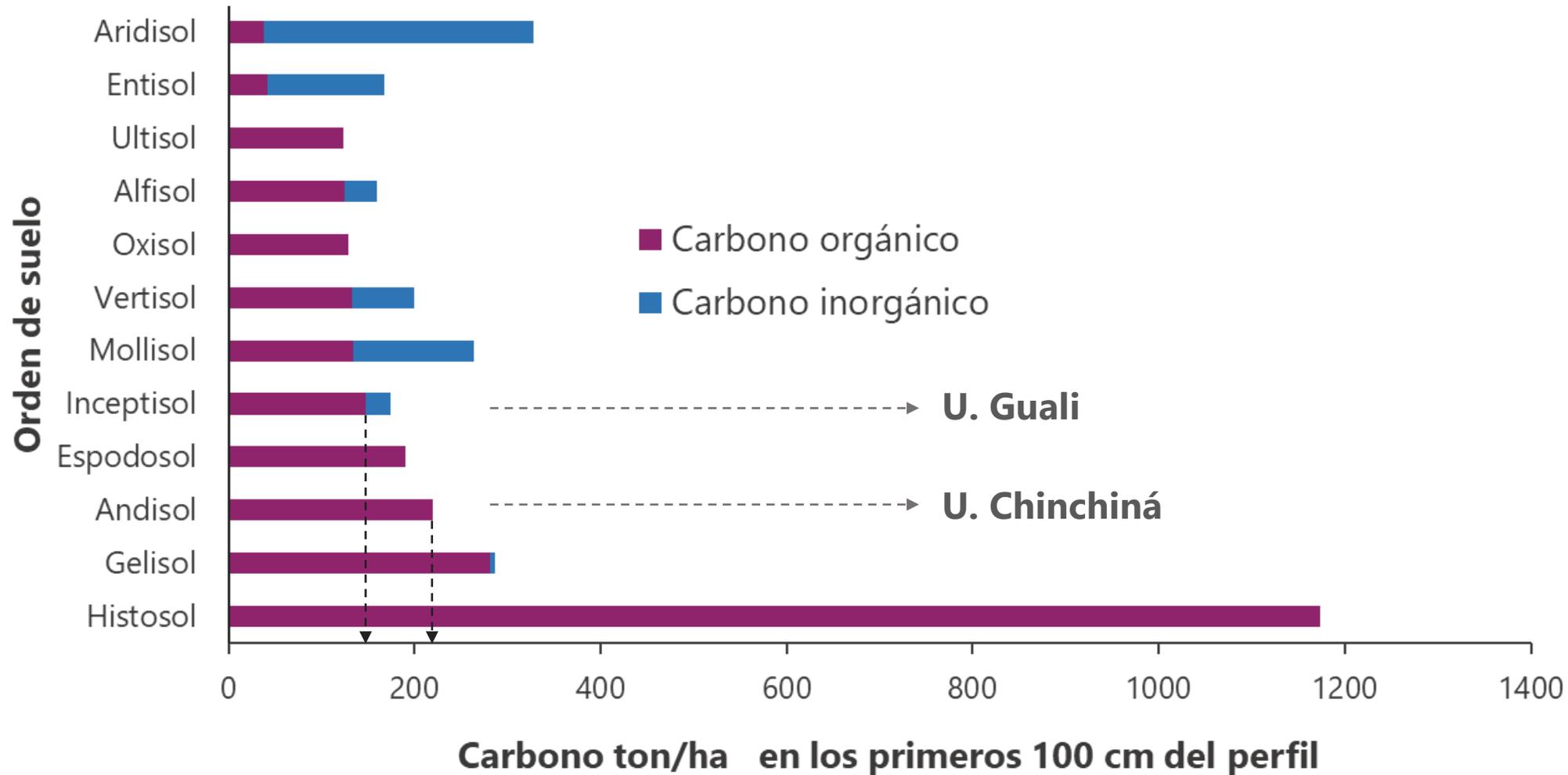


Lince, 2021.

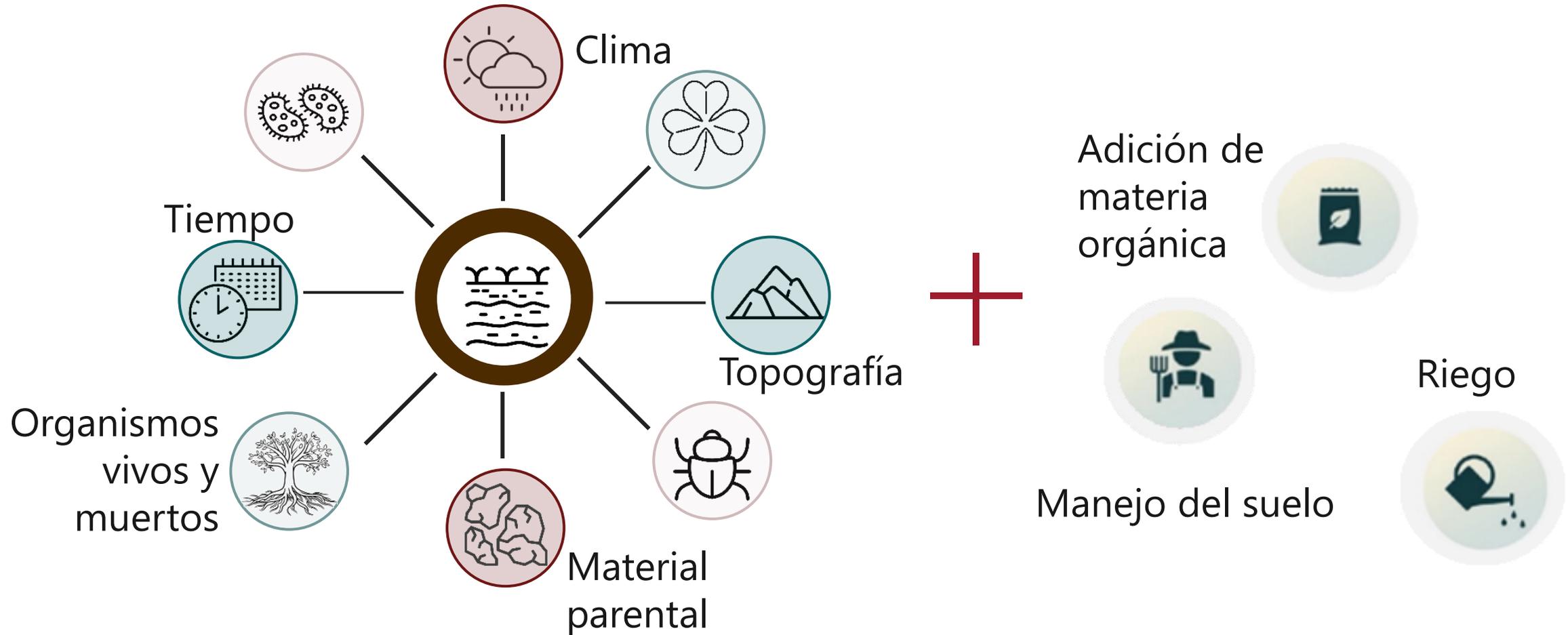
Contenido de carbono orgánico, %



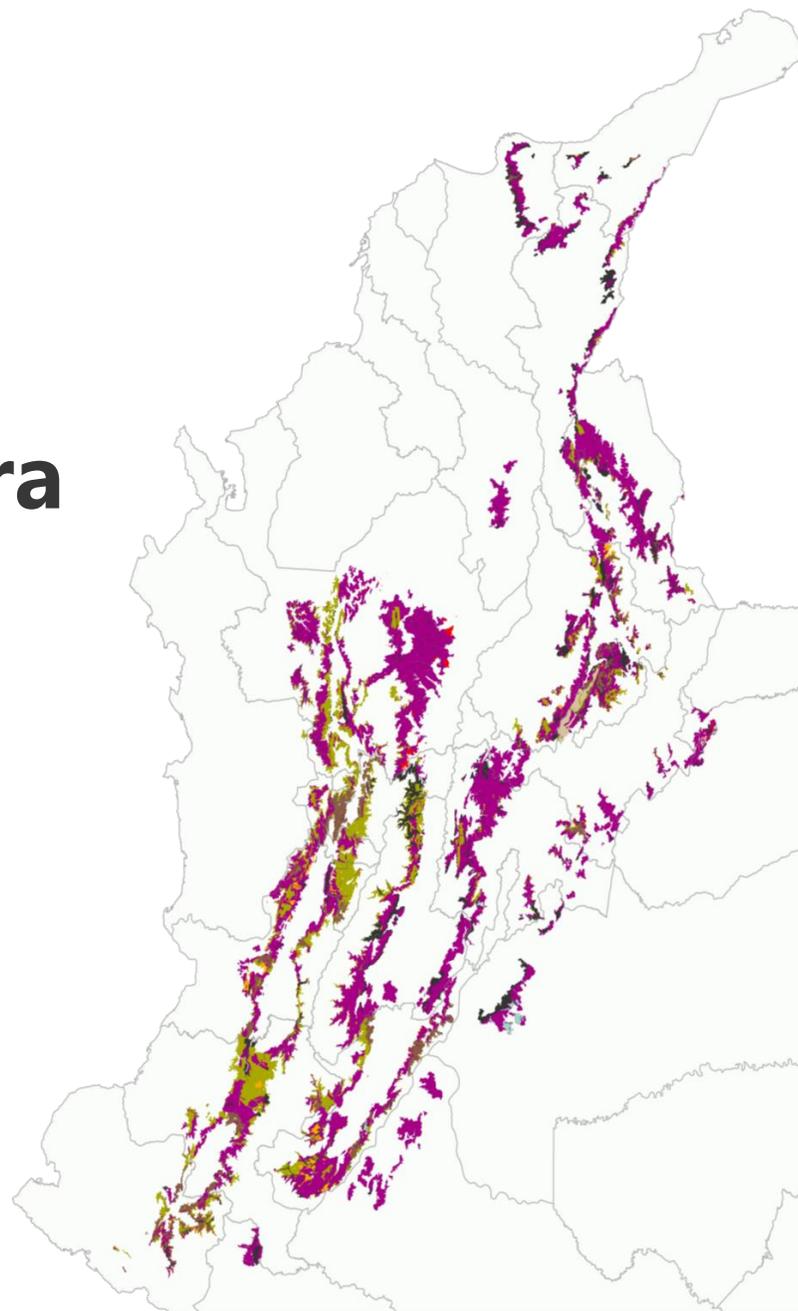
Contenido de carbono en los suelos del mundo según el Orden taxonómico



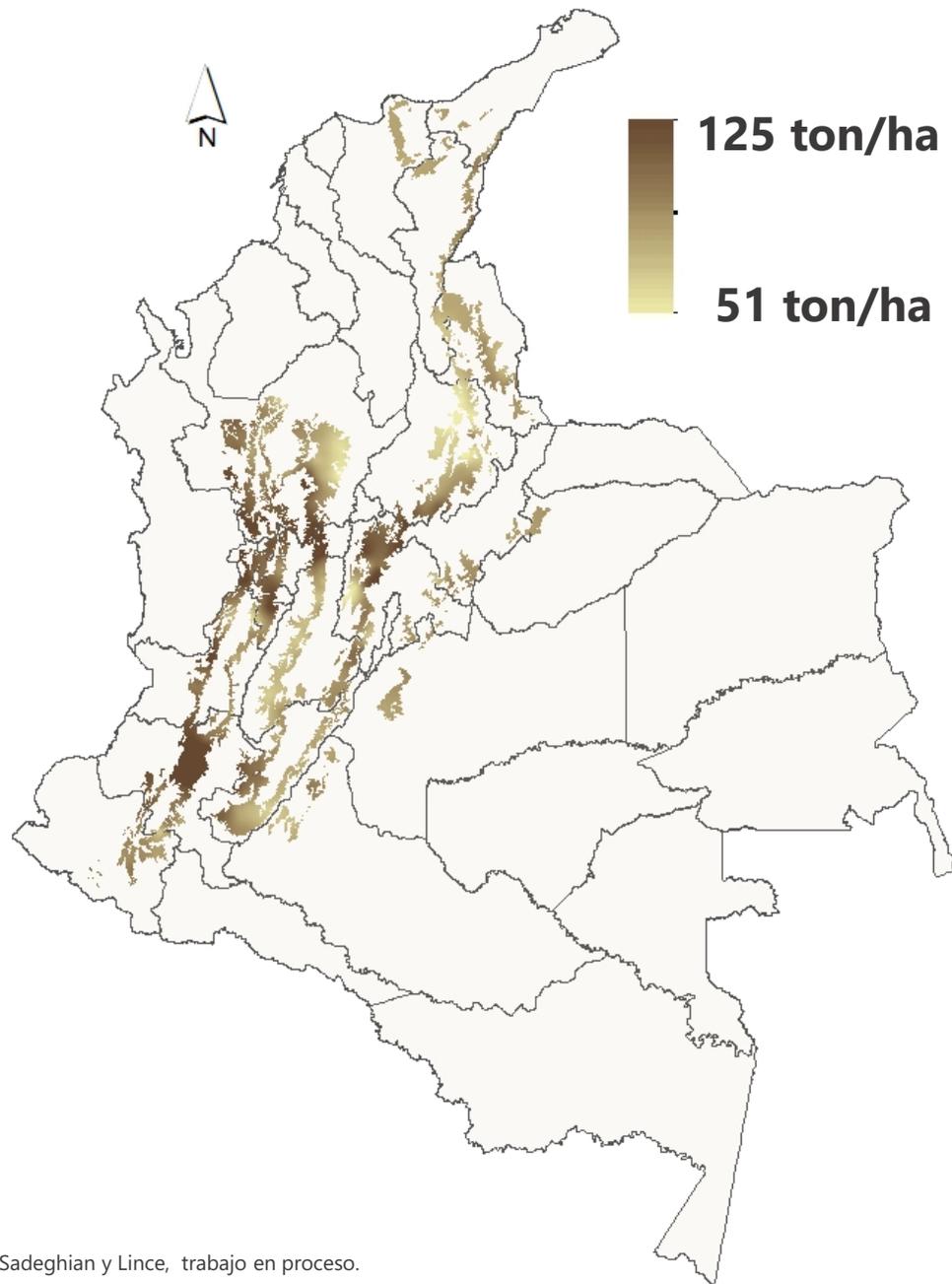
Formación y estabilidad de la materia orgánica del suelo



Principales ordenes de suelo en la zona cafetera Colombiana

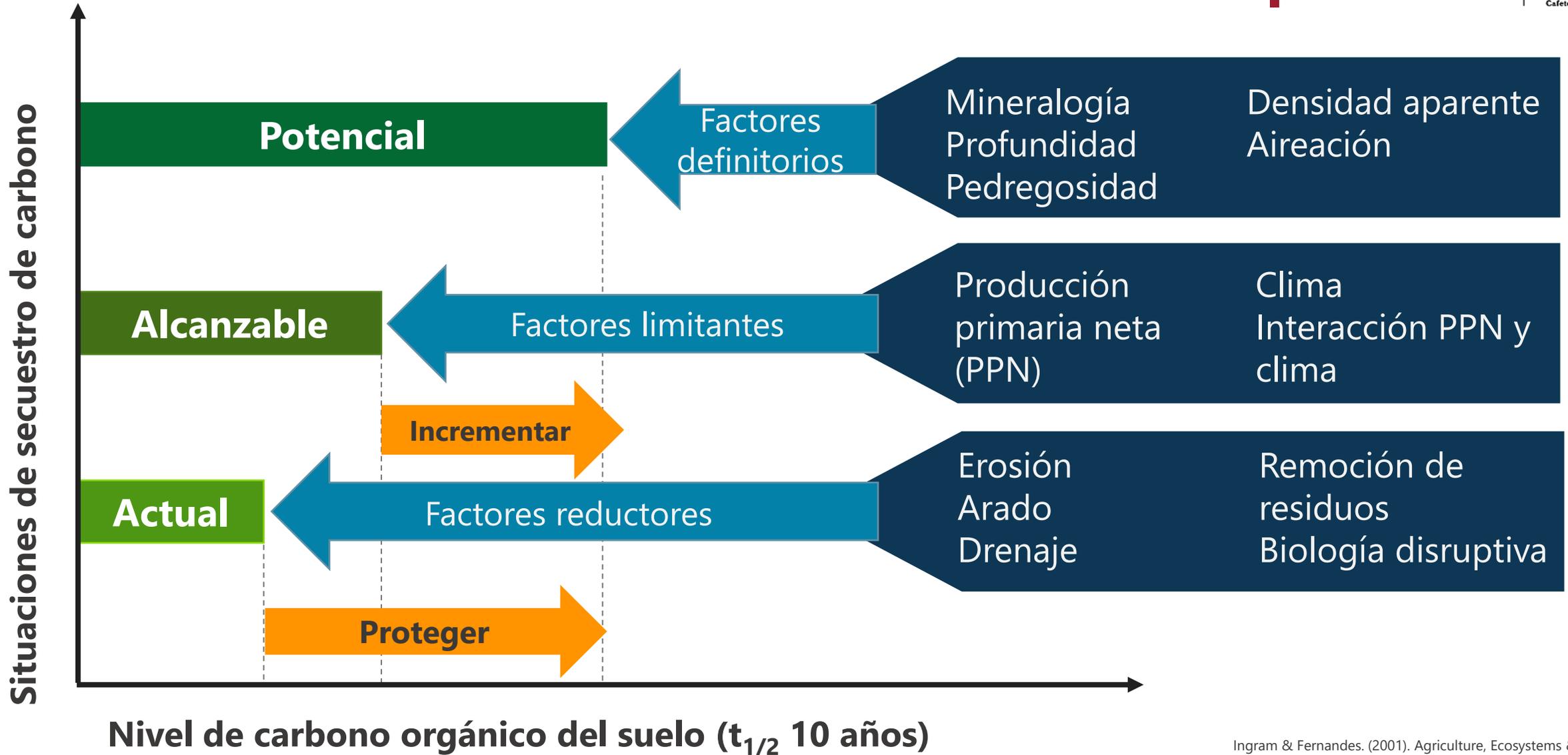


Orden de suelo	Área, %
 Inceptisoles	61%
 Andisoles	18%
 Entisoles	11%
 Molisoles	8%

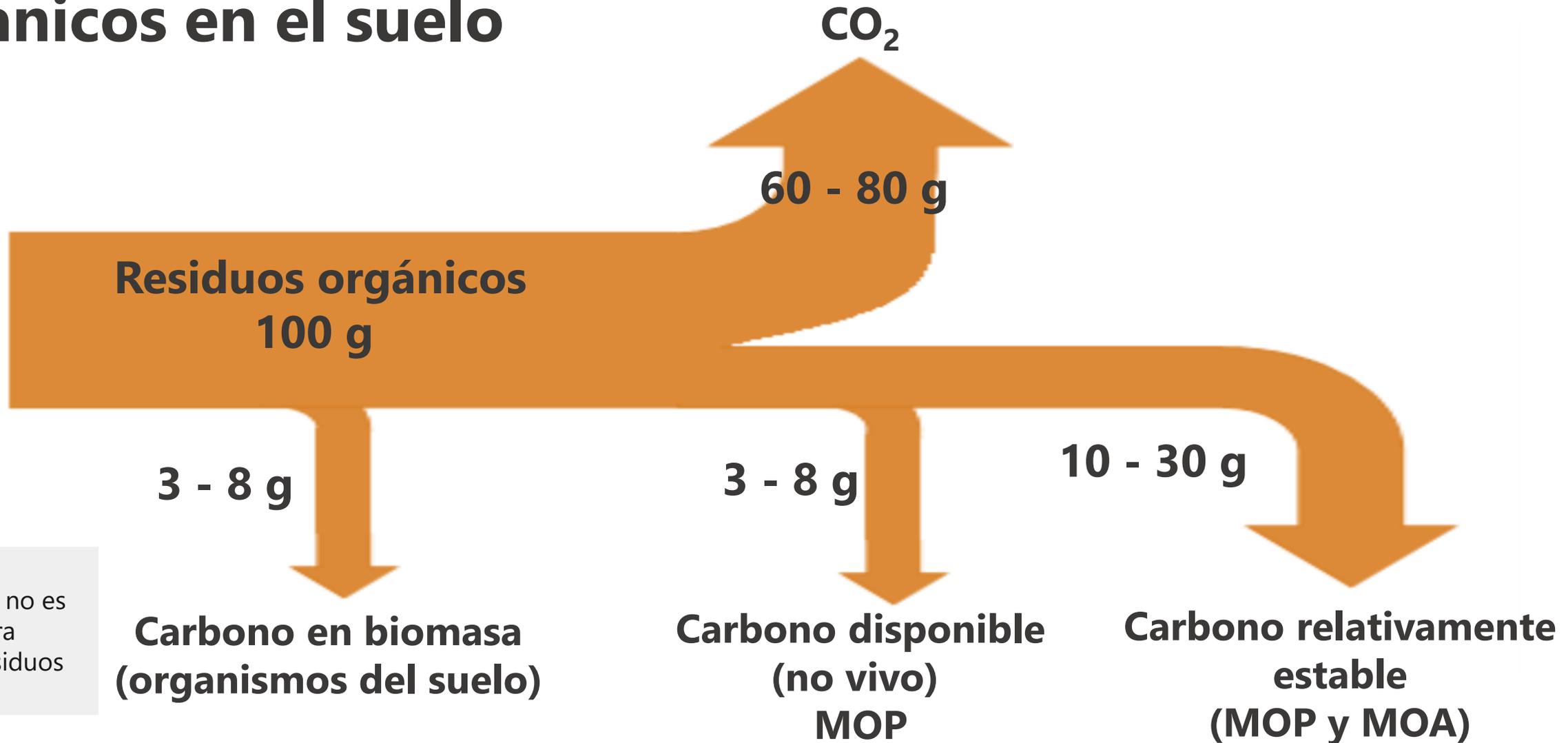


Estimación del contenido de carbono orgánico del suelo de la zona cafetera colombiana.

Secuestro de carbono (carbono asociado al suelo)

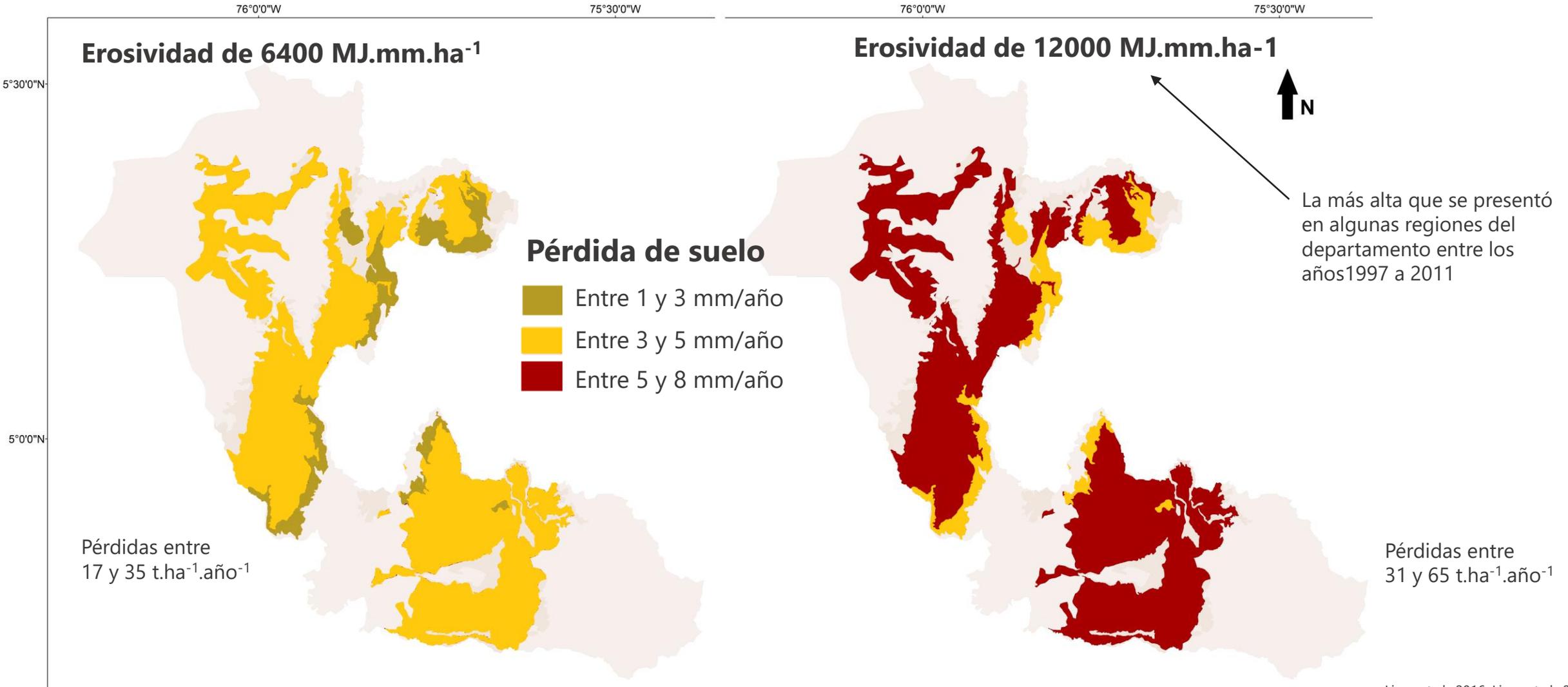


Distribución de residuos orgánicos en el suelo

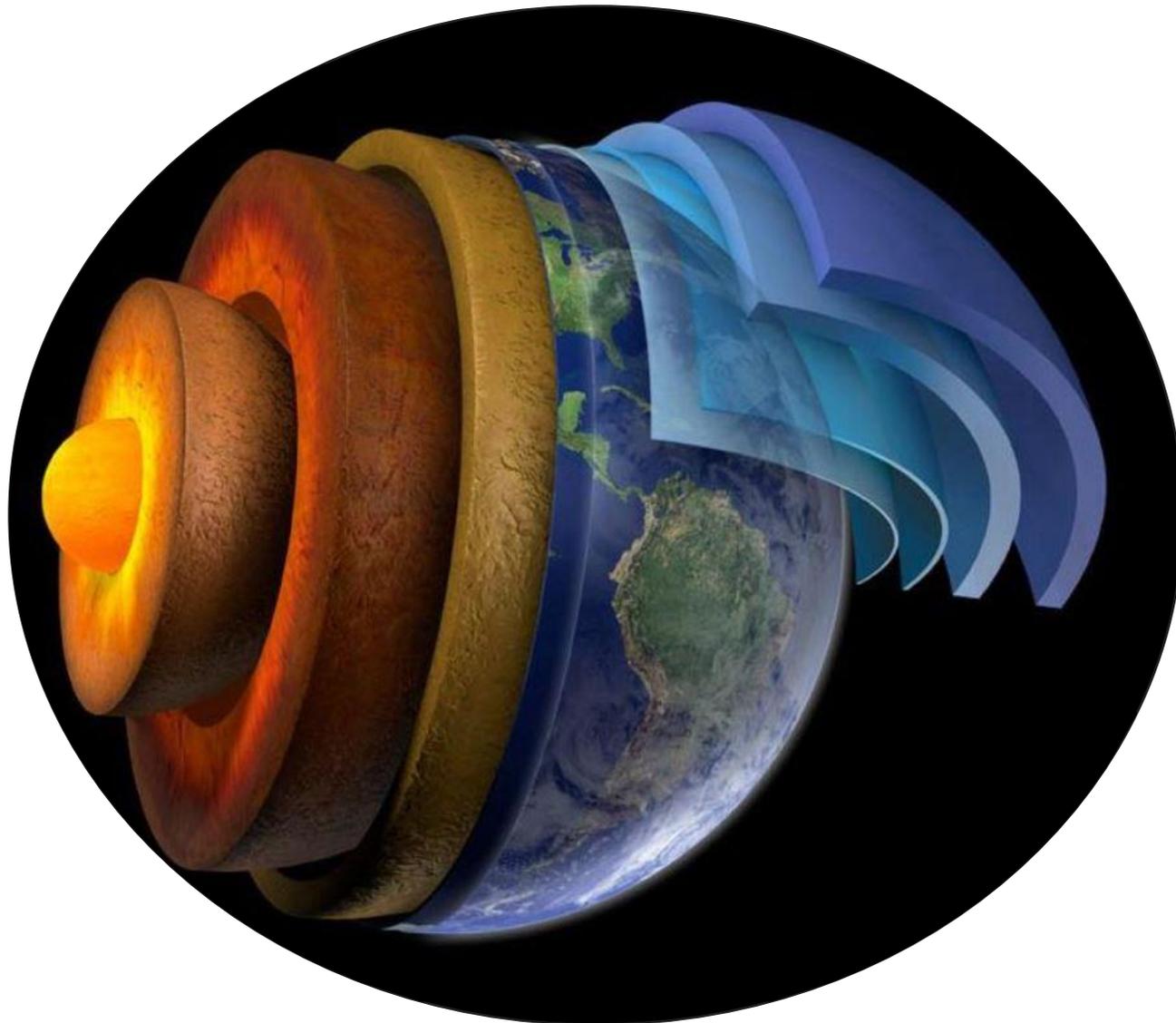


Nota: Esta distribución no es la misma para todos los residuos orgánicos.

Pérdida de suelo por erosión causada por la lluvia



Clima



Es el conjunto fluctuante de las condiciones **atmosféricas**.

Se caracteriza por los estados y evoluciones del **estado del tiempo**, durante un periodo y un lugar o región.

Composición de la atmosfera

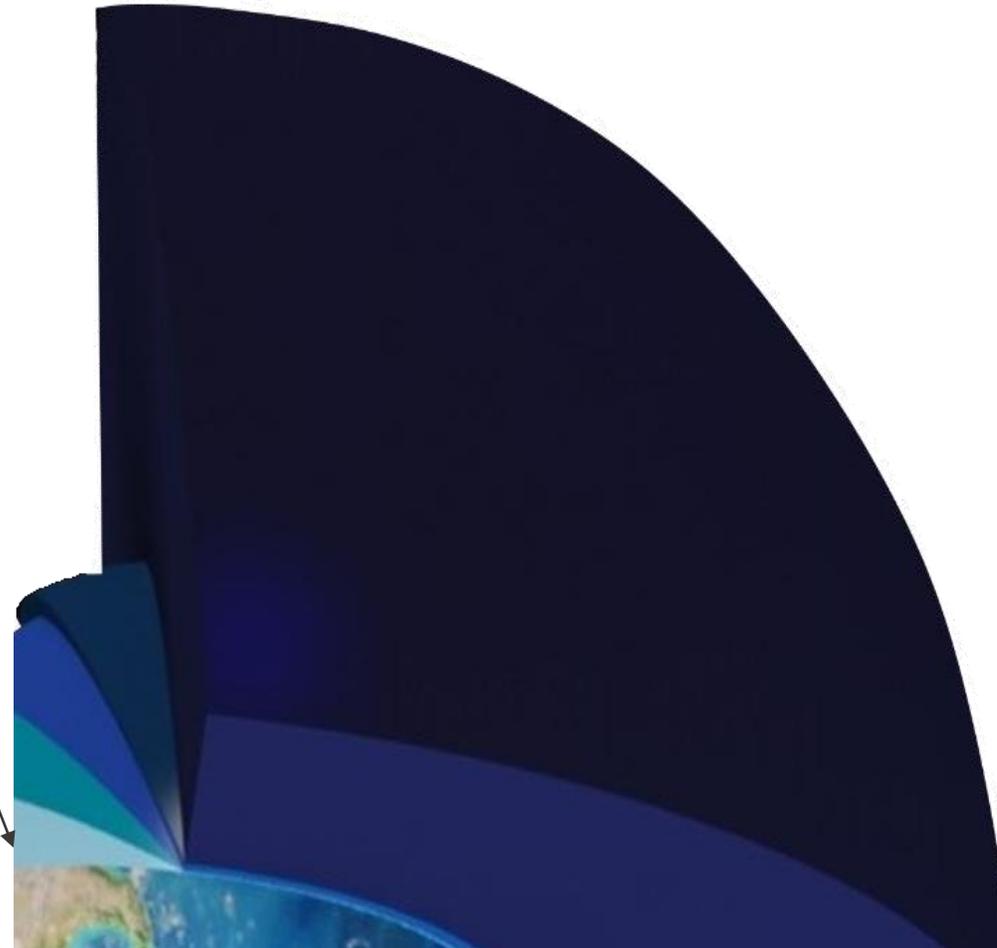
1. Tropósfera

 15 a -60°C  15 km



78% N
21% O
0.93 % Ar

0.03% CO₂
0.04% otros H₂O
N₂O



Tropósfera

Estratósfera

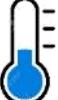
Mesósfera

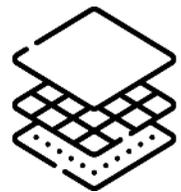
Termósfera

Exósfera

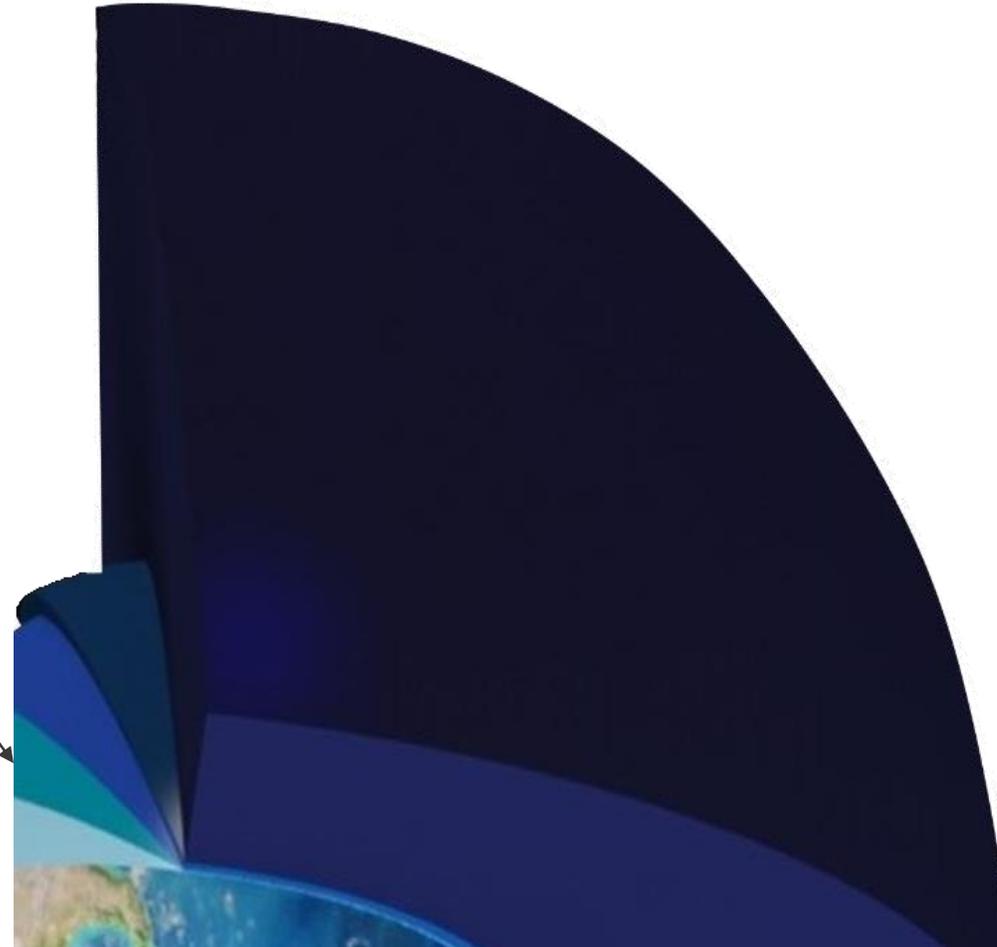
Composición de la atmosfera

2. Estratósfera

 -5 a -60°C  50 km



Capa de Ozono (O₃)



Tropósfera

Estratósfera

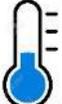
Mesósfera

Termósfera

Exósfera

Composición de la atmosfera

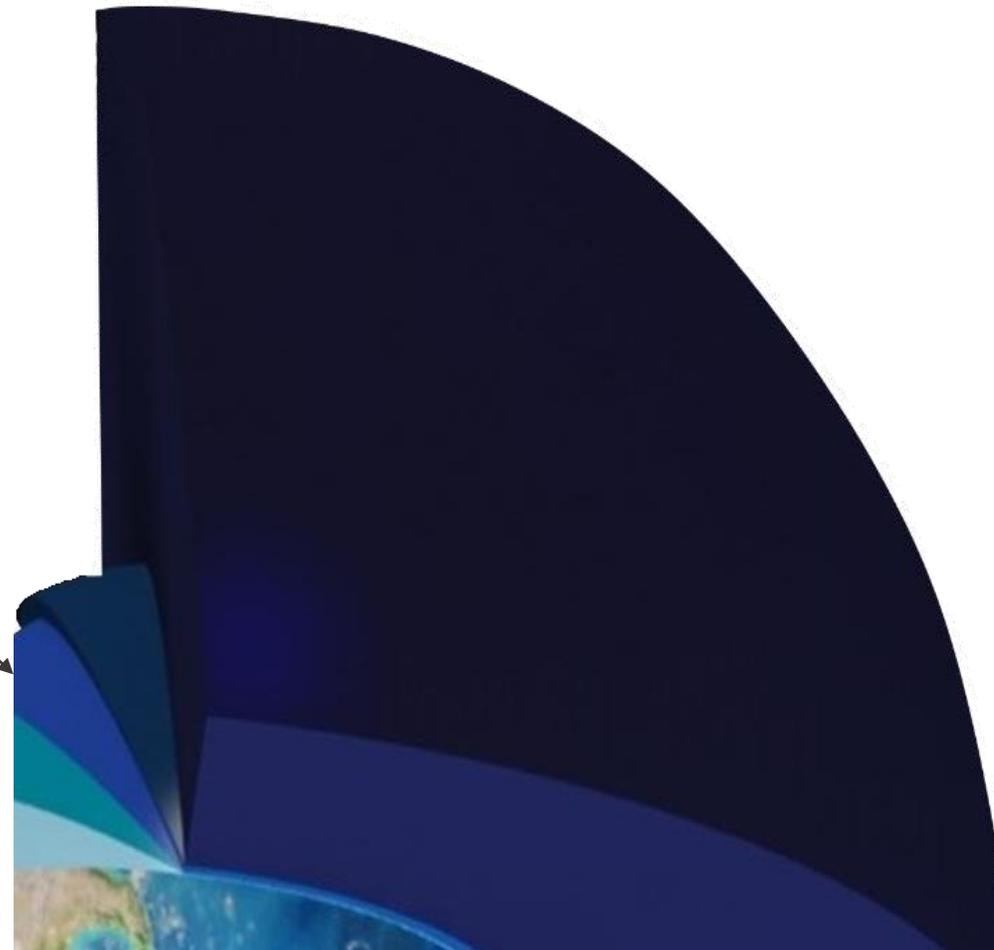
3. Mesósfera

 -95 a -°5 C  80 km



17.000 meteoritos/año

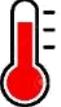
40000 Ton

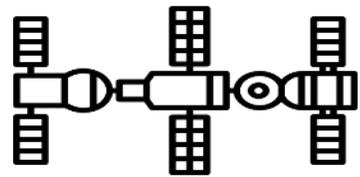


Tropósfera
Estratósfera
Mesósfera
Termósfera
Exósfera

Composición de la atmosfera

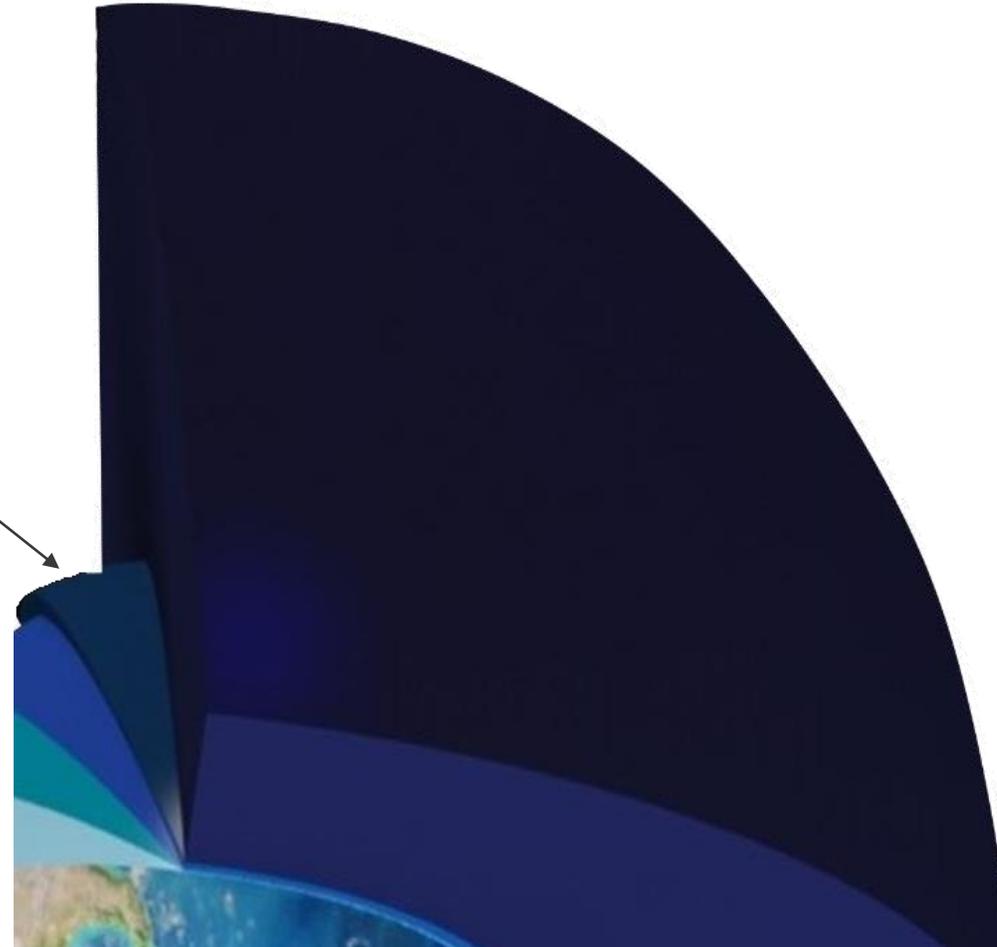
4. Termósfera

 1500 a -95 °C \updownarrow 500 km



Estación Espacial
Internacional

Estados Unidos
Rusia
Japón
Europa
Canadá



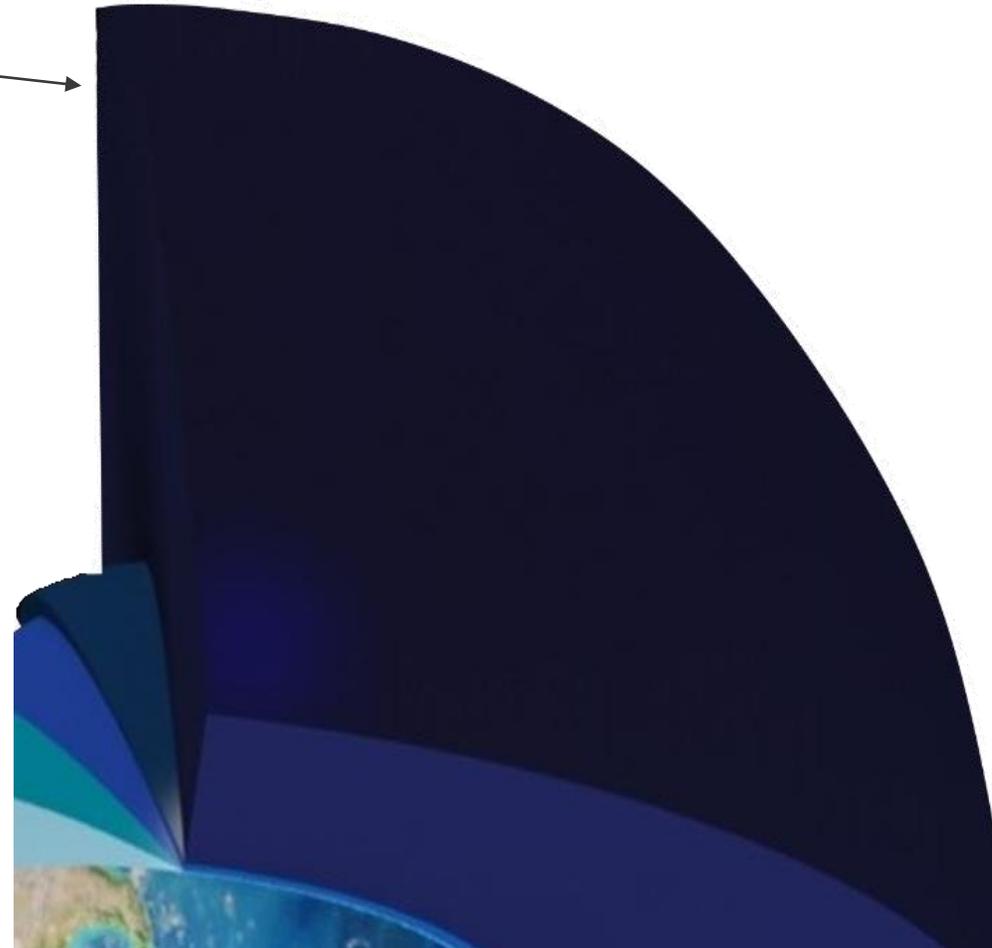
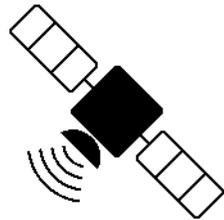
Tropósfera
Estratósfera
Mesósfera
Termósfera
Exósfera

Composición de la atmosfera

5. Exósfera

 +1500 °C  10000 km

H,
He,
O



Tropósfera
Estratósfera
Mesósfera
Termósfera
Exósfera

Cambio climático en la tierra

Tiempo atmosférico



Agrupación de eventos de **más de 30 años.**

Clima



Factores forzantes externos

Factores forzantes internos

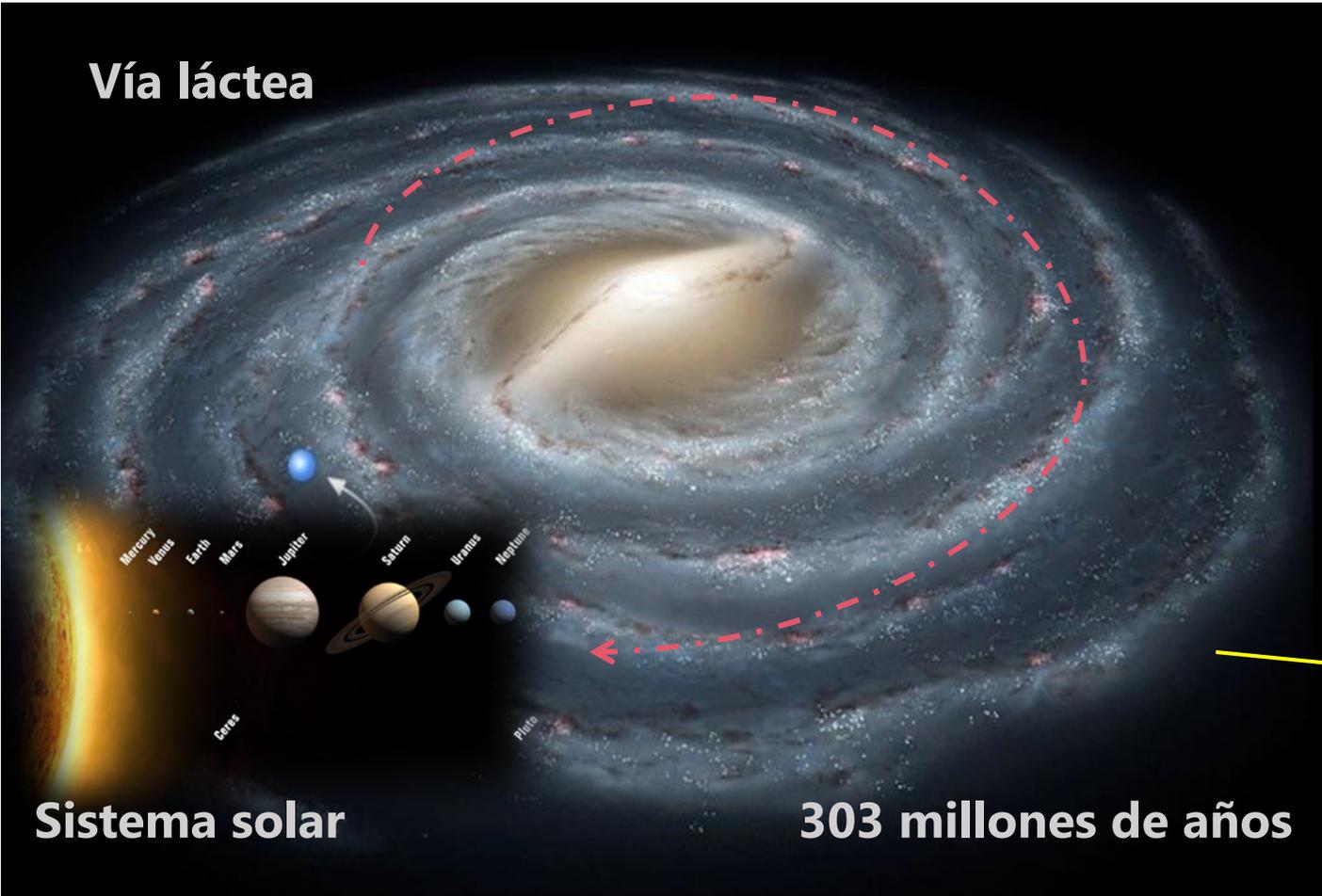
Factores forzantes externos

Variaciones galácticas



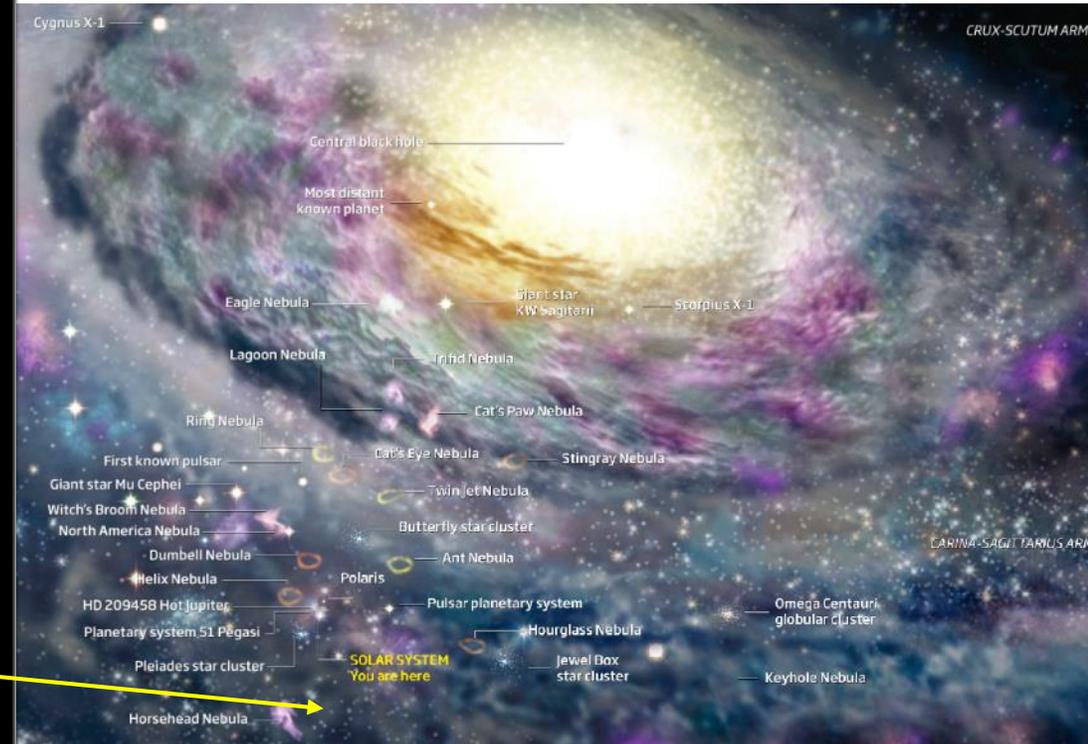
Universo Observable

Vía láctea



Sistema solar

303 millones de años



Cambios en radiación solar en la superficie de la tierra

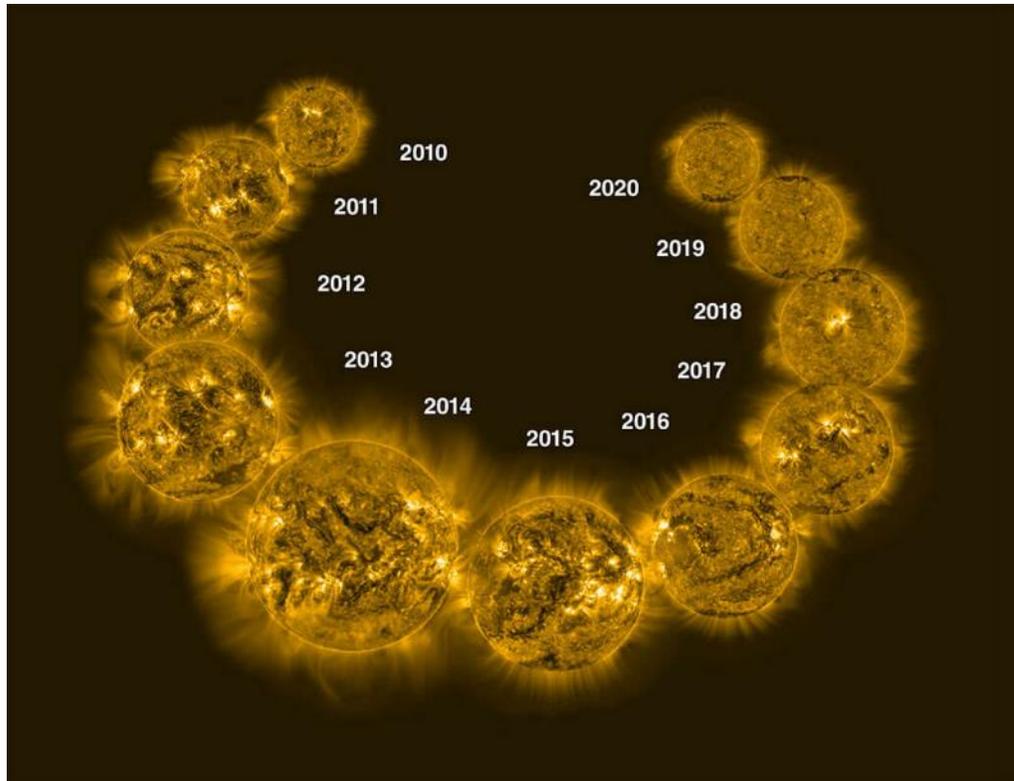
imagenes: NASA/JPL/IAU

Información: IDEAM, 2007

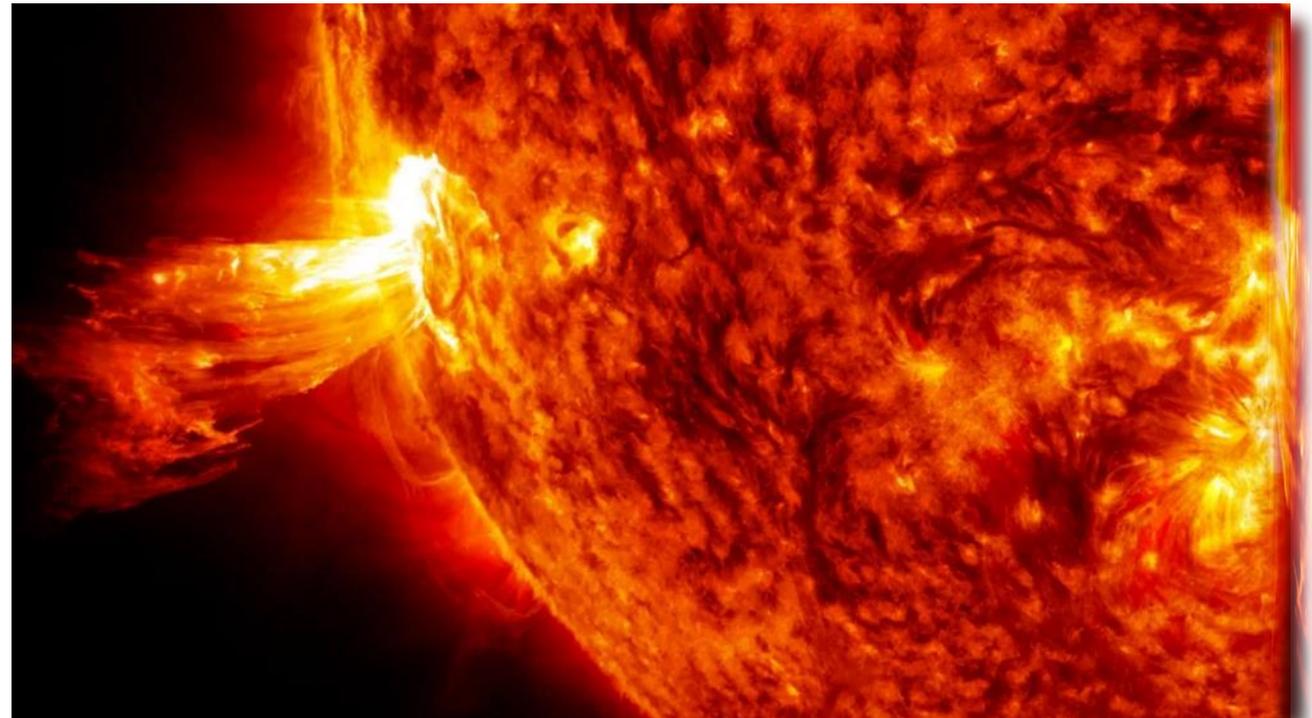
Factores forzantes externos

Variaciones solares

Ciclos de 11 años



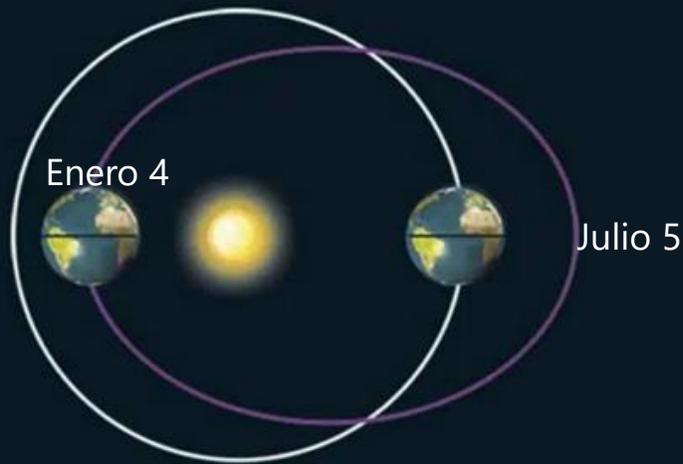
A mayor cantidad de manchas solares, mayor energía emitida por el sol



Factores forzantes externos

Ciclos de Milankovitch

Excentricidad



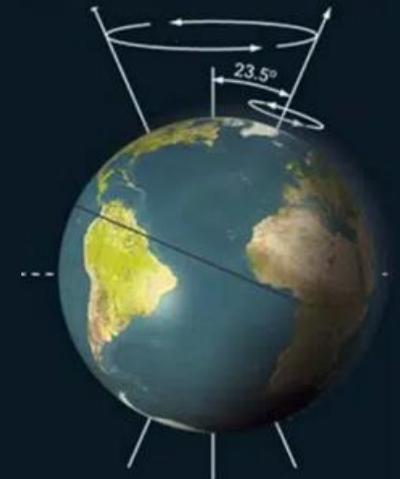
Duración de las estaciones
100.000 años

Oblicuidad



Intensidad de las estaciones
41.000 años

Precesión

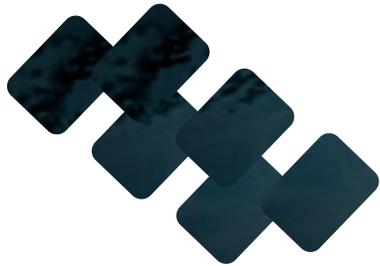


Refuerza las estaciones
26.000 años

Factores forzantes internos

Orogenia y epirogenia

Genera cambios en
la circulación
atmosférica



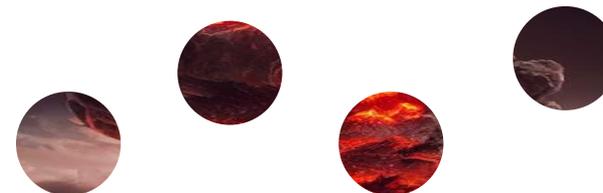
Factores forzantes internos

Actividad volcánica



Genera bajas en la temperatura por disminuir la radiación solar.

Genera aumentos en la temperatura por emisión de CO_2 y CH_4 .



Factores forzantes internos

Circulación del océano

Alta capacidad de
almacenamiento de calor

Transporte energético desde
bajas a altas latitudes



Factores forzantes internos

Variaciones en la composición de la atmosfera



Gases efecto invernadero

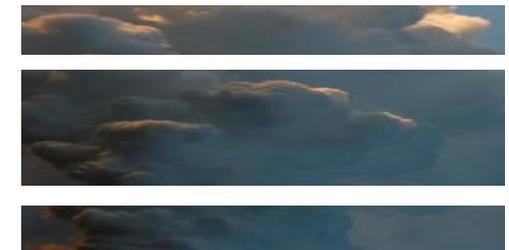
Vapor de H₂O

CH₄

N₂O

O₃

CO₂ 427 ppm



Información: IDEAM, 2007

Factores forzantes internos

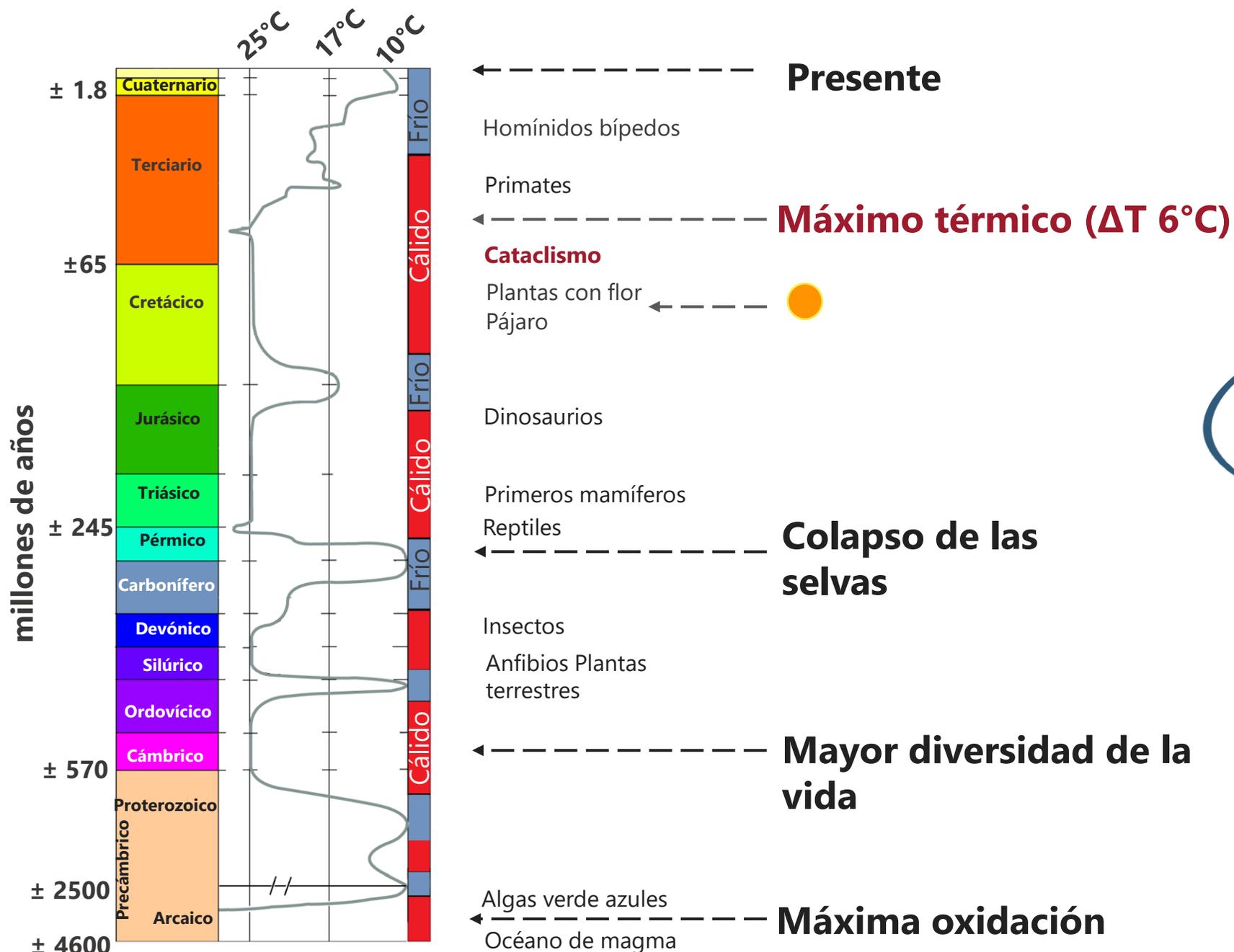
Variaciones en la composición de la atmosfera

Gases efecto invernadero

CO₂ Es un gas que atrapa el calor.

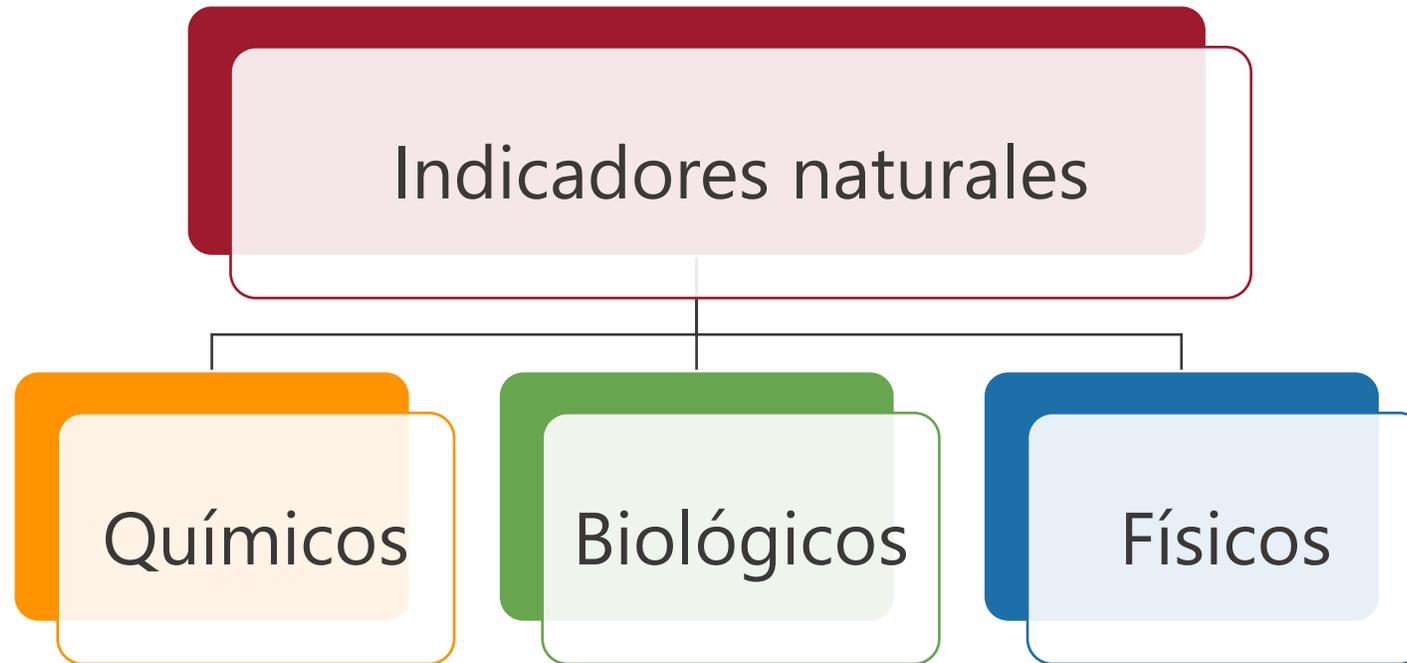
Retiene la radiación térmica absorbida y la libera sobre el planeta de manera lenta, gradual, y casi constante.





Cambios climáticos en la Tierra

Past climate changes. From Scotese, C.R., 2002. Global Climate History, PALEOMAP Project. Global climate of 2008.



Requisitos

- Ser sensibles a cambios en el ambiente.
- Conservarse a través del tiempo de forma inalterada.

Cada proxy debe estar asociado a una o varias variables climáticas
(temperatura, humedad, precipitación, viento, etc)

Proxies climáticos químicos

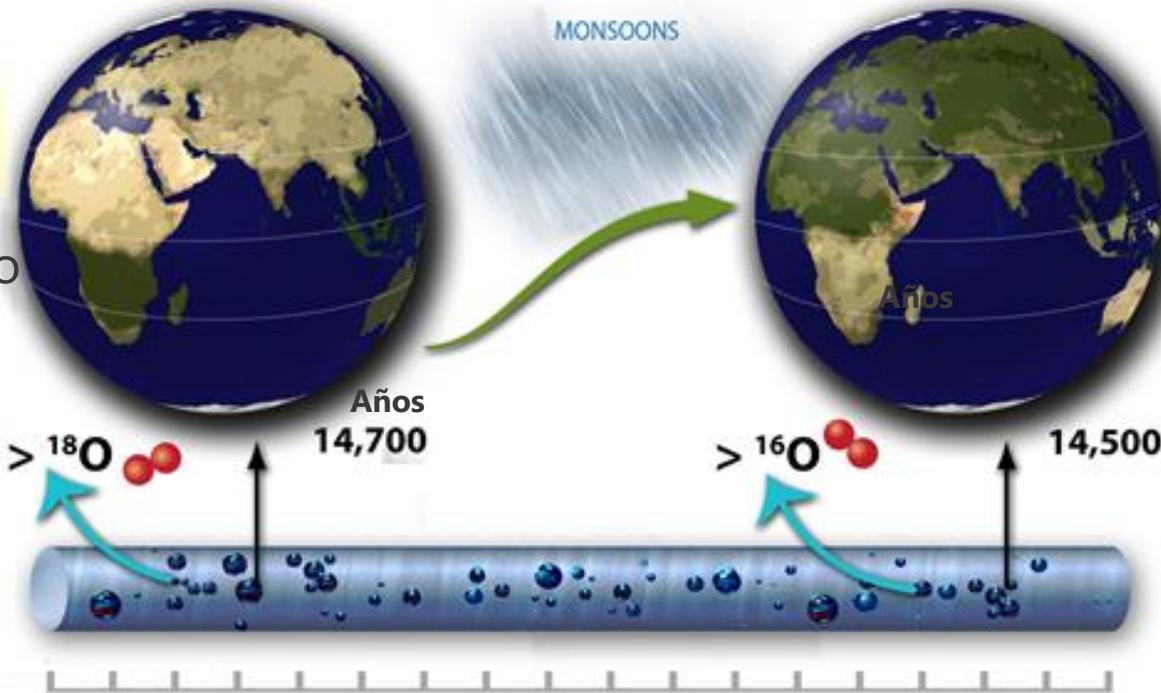
Isotopos estables de ^{16}O y ^{18}O

Relación $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

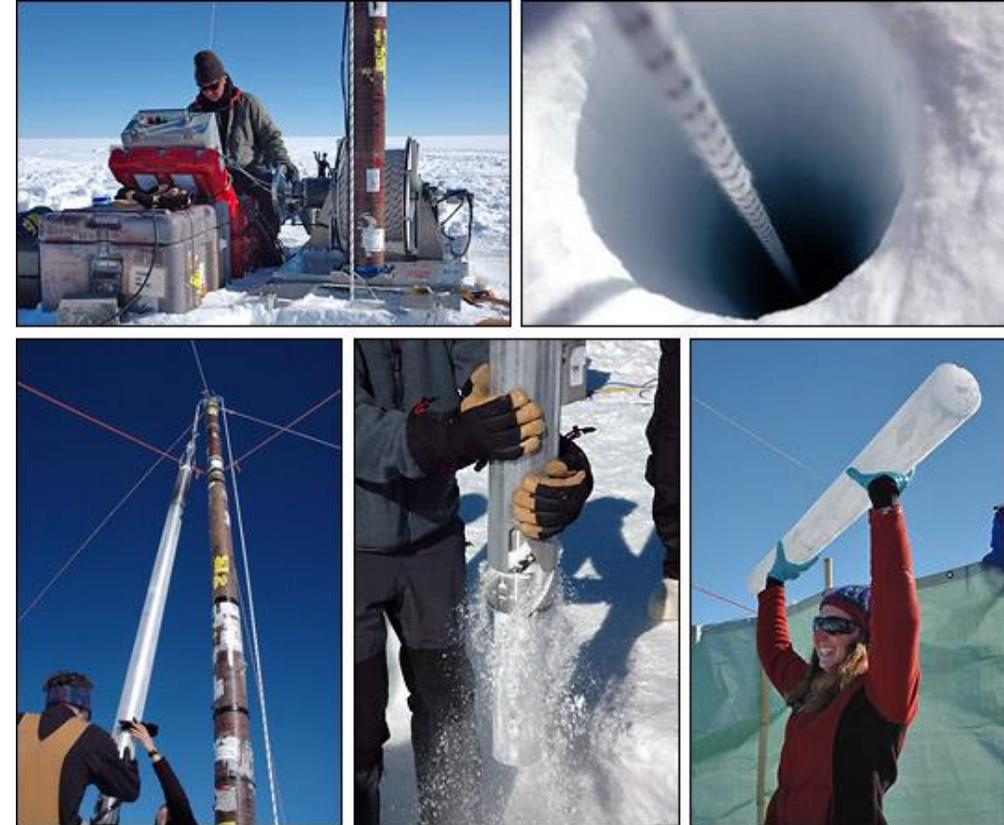
Periodo húmedo



Periodo seco



Núcleo de hielo



Proxies climáticos químicos

Isotopos estables de ^{12}C y ^{13}C

Relación $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

Periodo
seco



$>^{12}\text{C}$ 14,700

Periodo
húmedo

MONSOONS



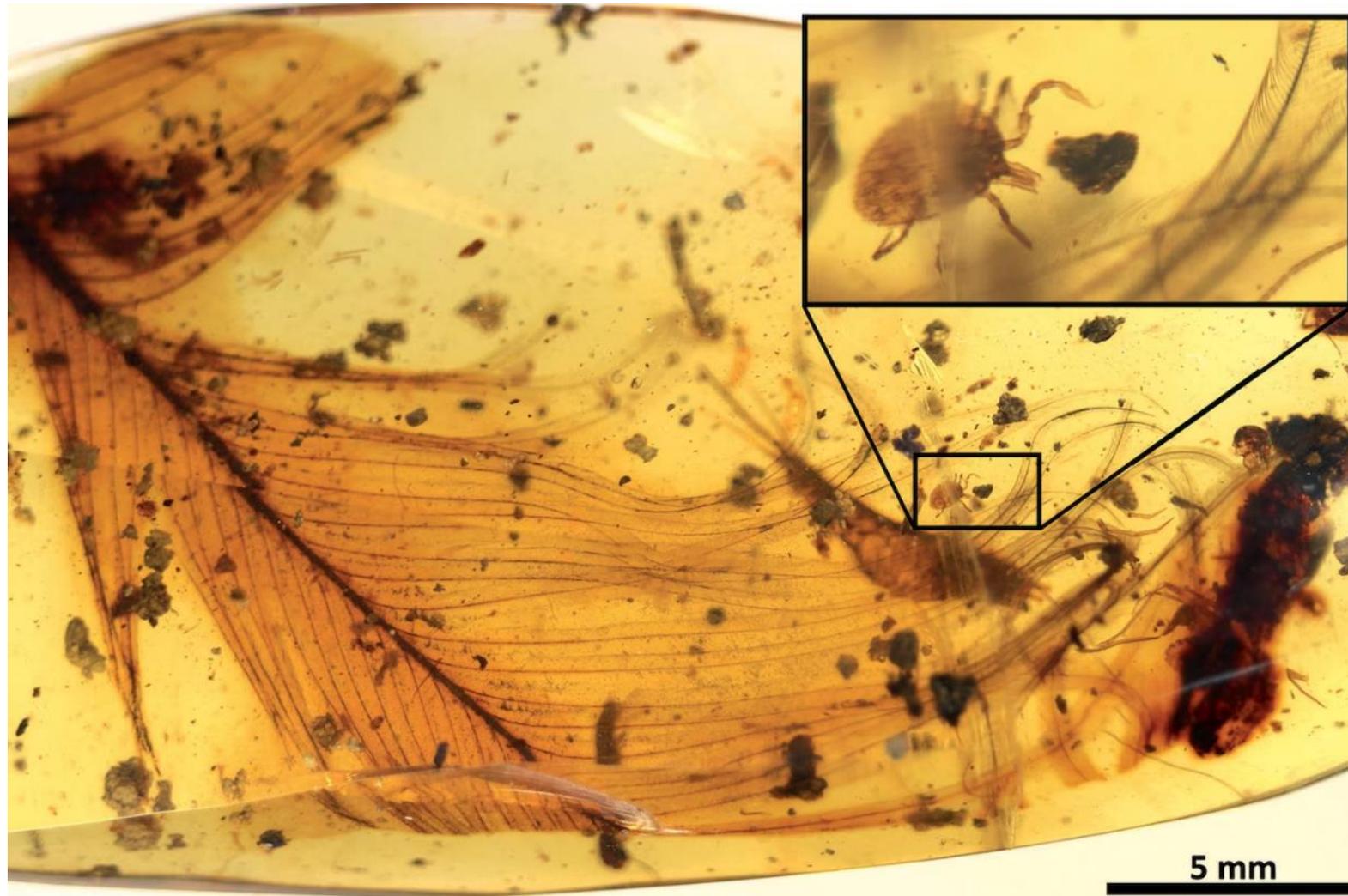
$>^{13}\text{C}$ 14,500



Núcleo de roca



Proxies climáticos biológicos

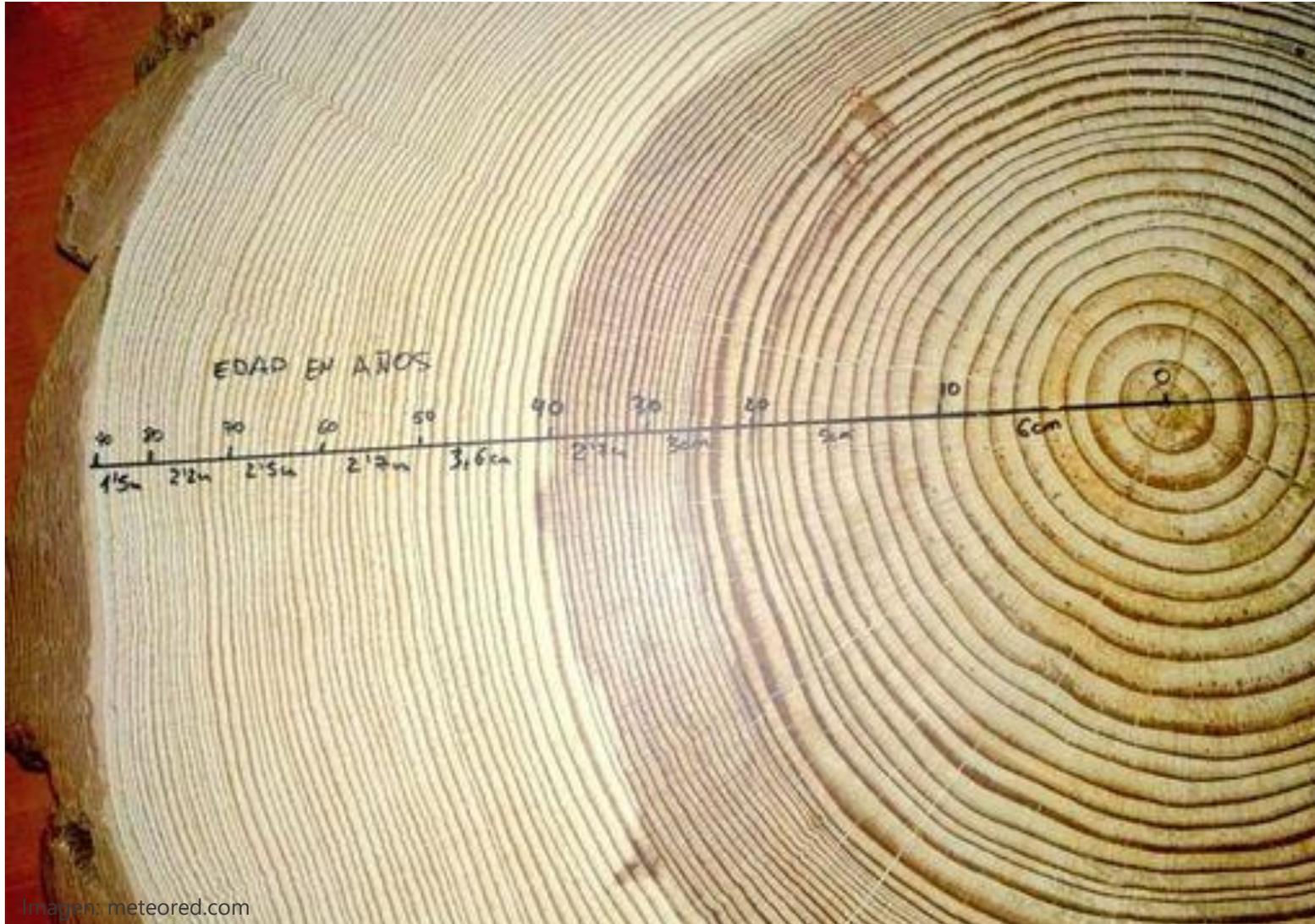


Garrapata en la pluma de un dinosaurio

Organismos en ámbar

Foto: E. Peñalver Nature Communications

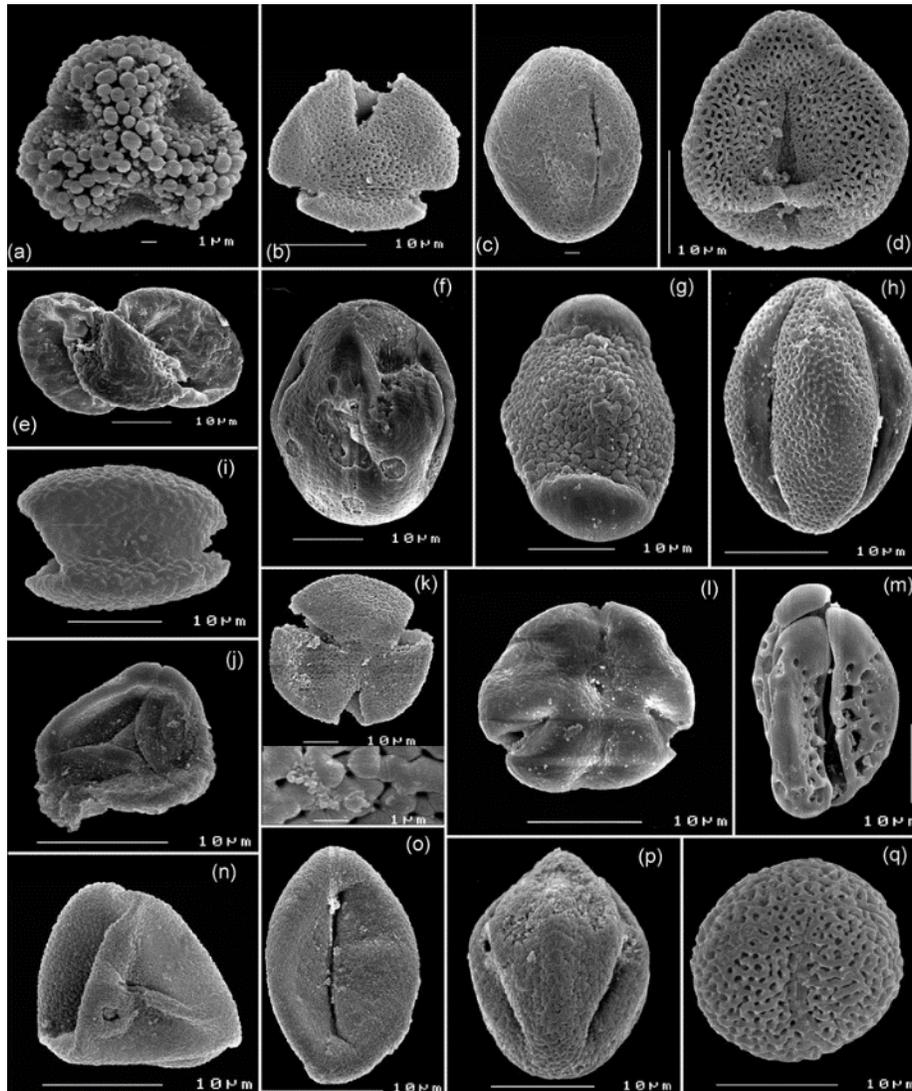
Proxies climáticos biológicos



Anillos de árboles

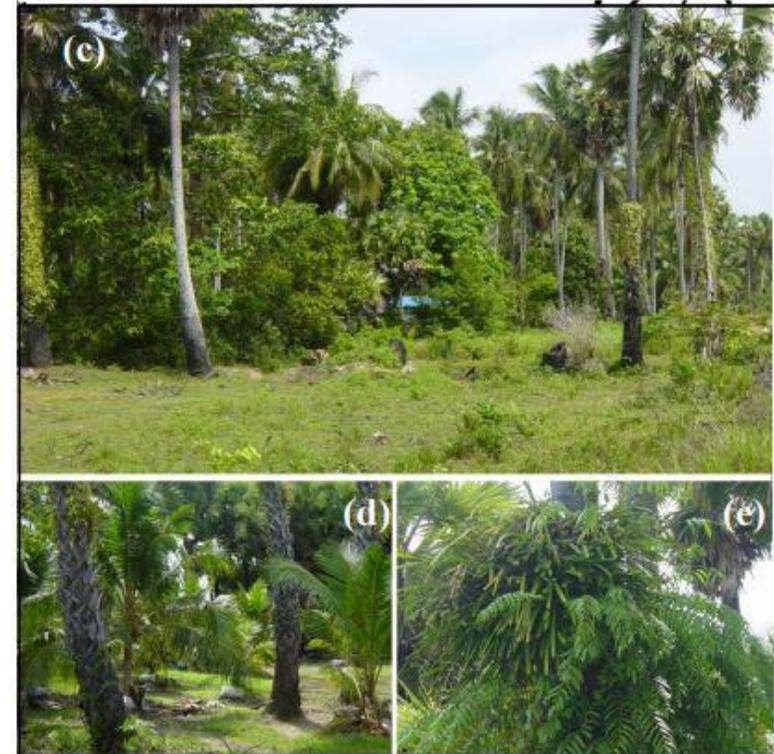
Proxies climáticos biológicos

Edad 1,8 millones de años



Rugmai et al., 2008

Polen en sedimentos



Proxies climáticos físicos

Fósiles



Foto: Fiona O'Brien (Yale Peabody Museum of Natural History)



Foto: Mark A. Wilson (Wikimedia Commons, Creative Commons Attribution-ShareAlike)

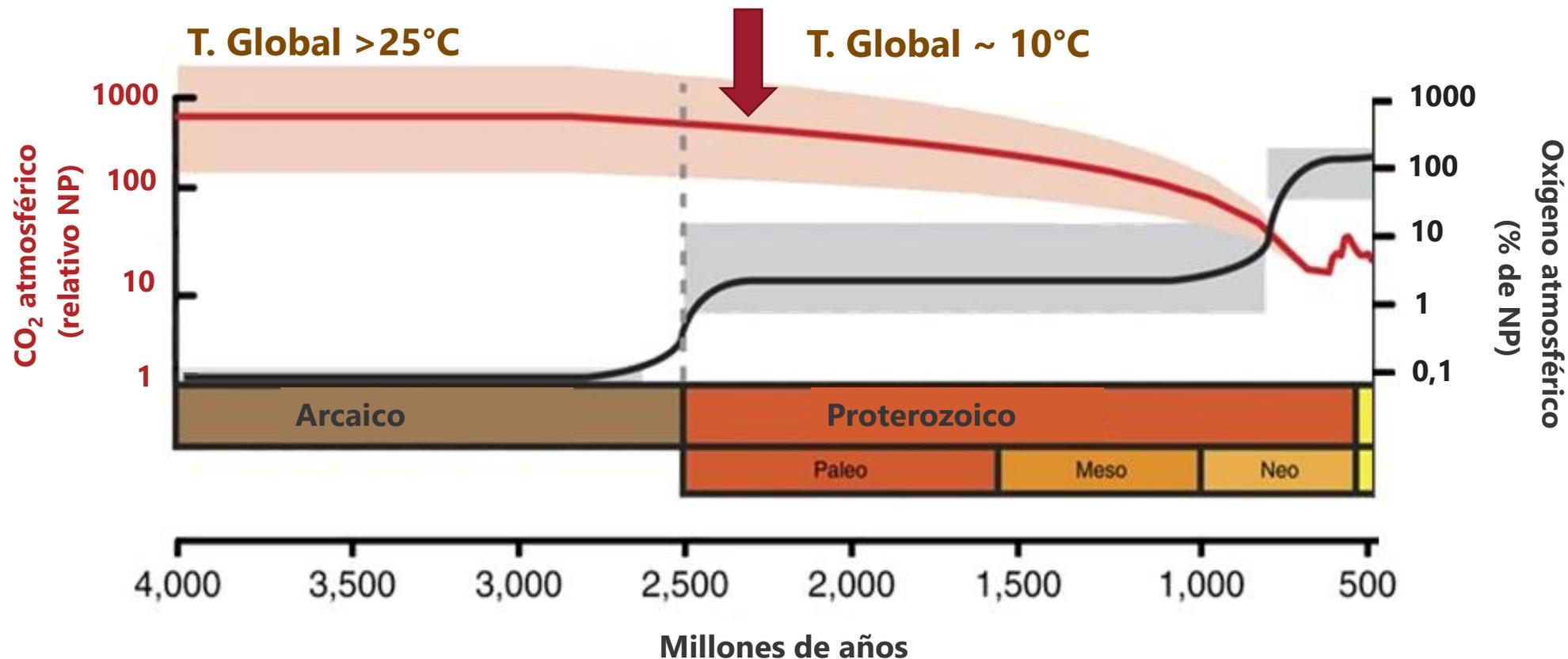
Proxies climáticos físicos



**Cuerpos
estratigráficos**

Las rocas

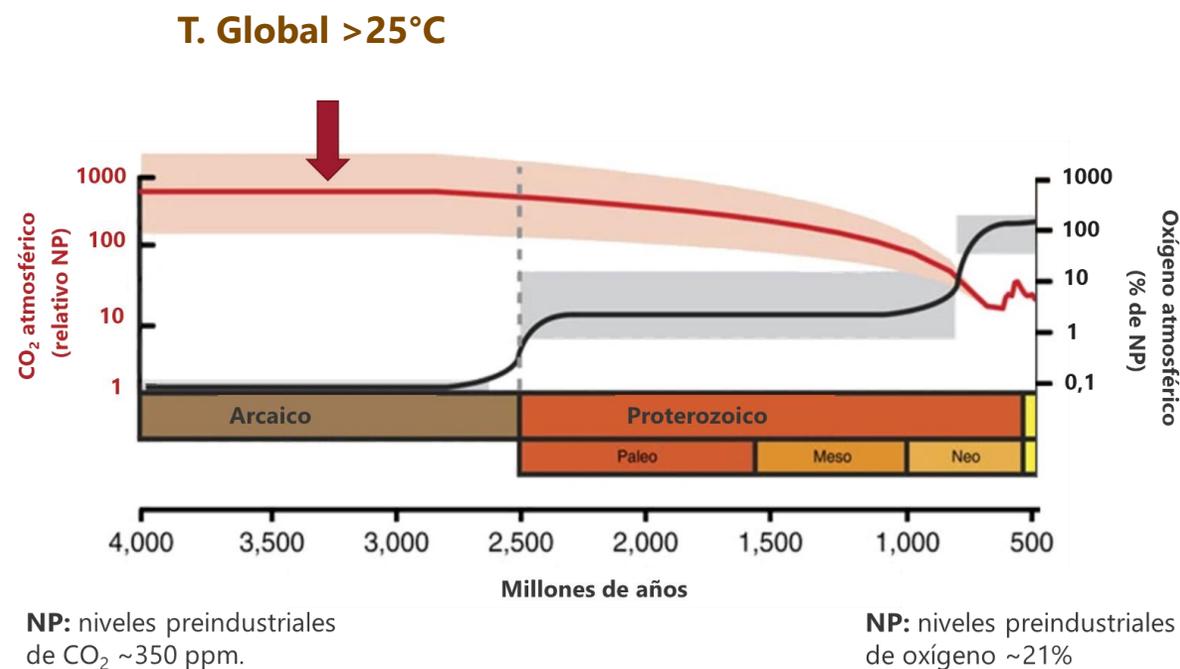
Evento de máxima oxidación



NP: niveles preindustriales de CO₂ ~350 ppm.

NP: niveles preindustriales de oxígeno ~21%

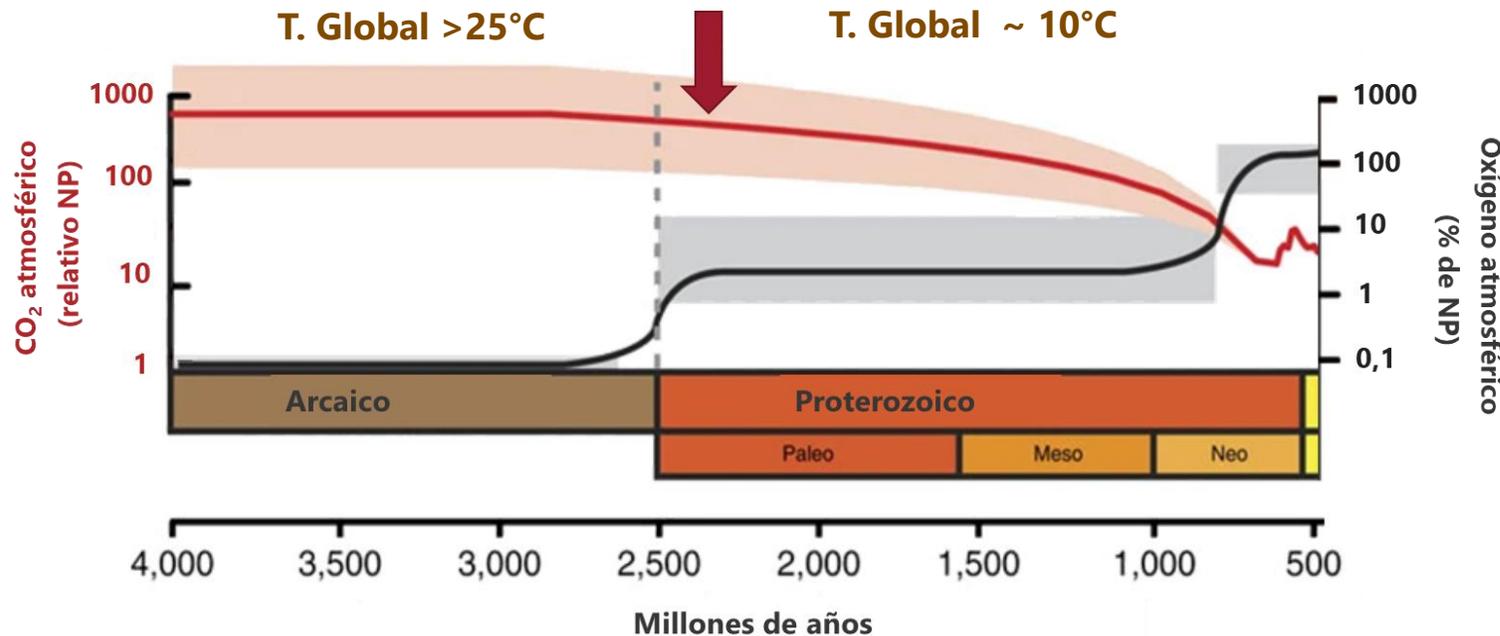
Arcaico: 4000 – 2500 millones de años



Bell (2017). Nature Geoscience. doi:10.1038/ngeo2955; Young (2012). Geoscience Frontiers. doi:10.1016/j.gsf.2012.07.003; Grant (2013). Geoscience Frontiers. doi.org/10.1016/j.gsf.2012.07.003; Shih et al. (2016). Nature communications. doi.org/10.1038/ncomms10382

Proterozoico: 2500 – 2500 millones de años

La mayor captura de CO₂ atmosférico en la historia de la tierra



NP: niveles preindustriales de CO₂ ~350 ppm.

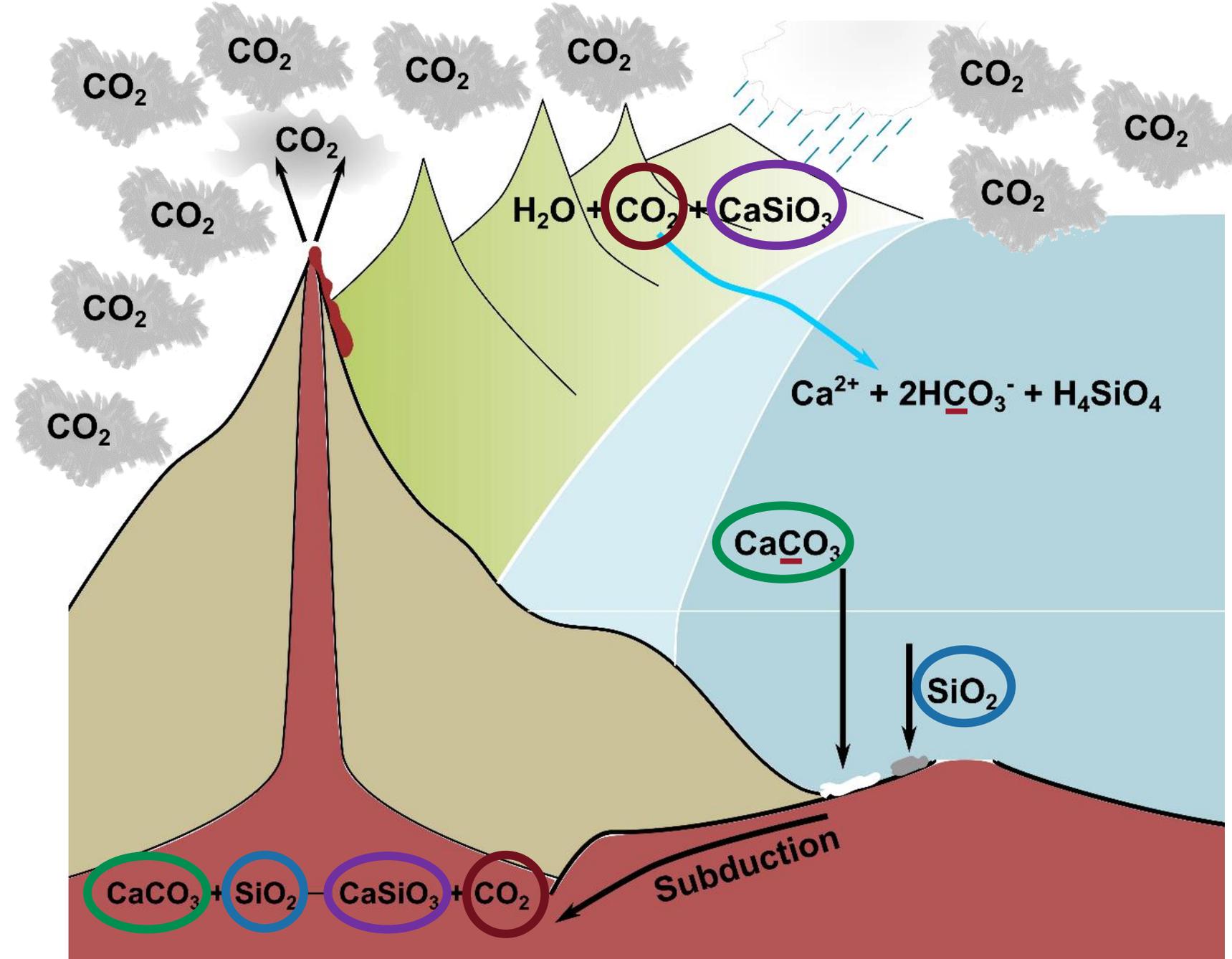
NP: niveles preindustriales de oxígeno ~21%



Captura de CO₂ atmosférico por oxidación de rocas silicatadas

Altos depósitos de Carbono inorgánico

Hilton & West (2020). nature reviews earth & environment. doi.org/10.1038/s43017-020-0058-6; Krause (2023). Research Communities by Springer Nature



Rocas con alta capacidad de retener CO₂ atmosférico

Complejo ofiolítico



Rocas intrusivas



Corteza oceánica



Plutones Ultrabásicos

Además, dan origen a arcillas que retienen altas cantidades CO₂ atmosférico

Mapa: Ortiz, 2004.

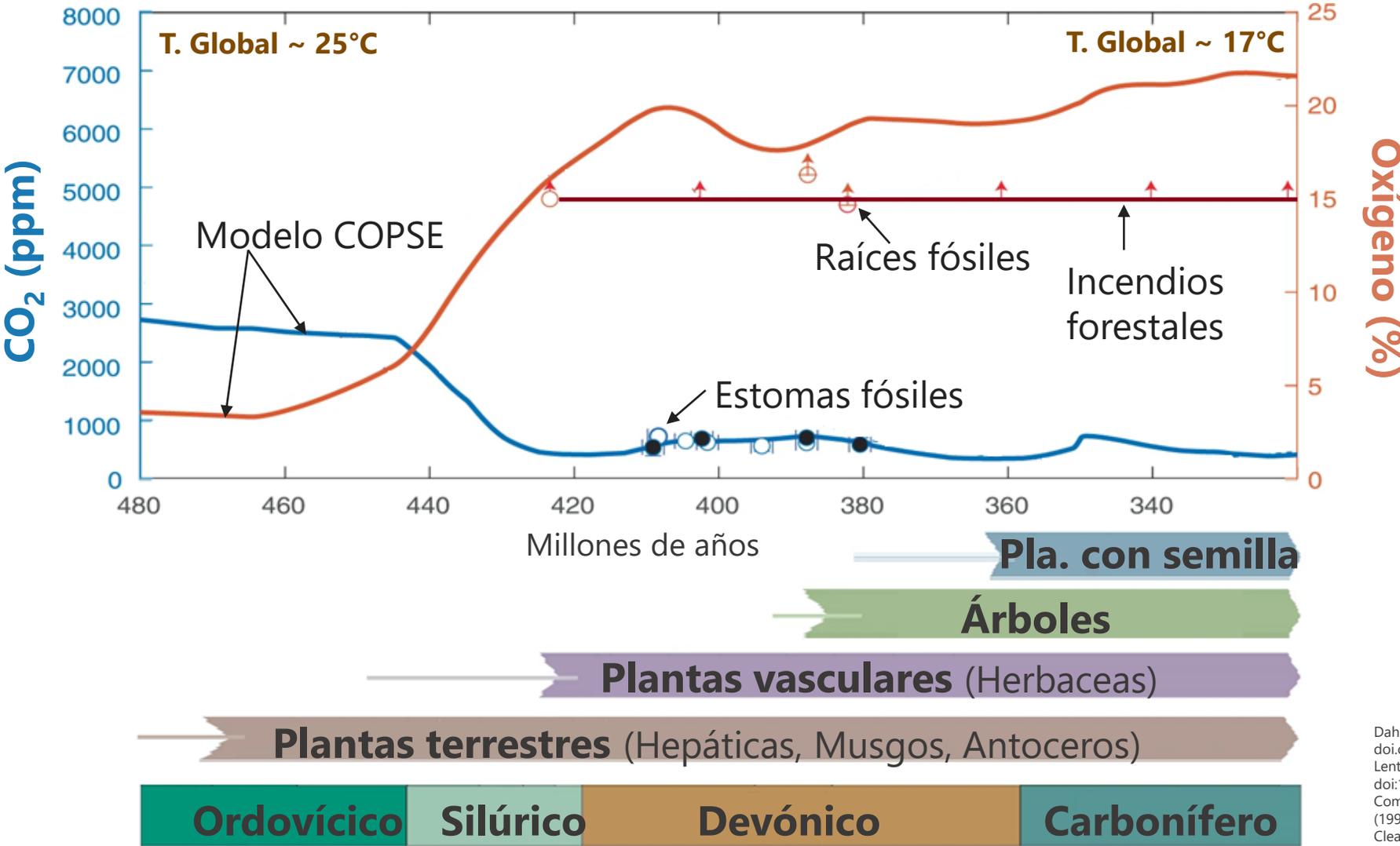
Vigilancia tecnológica



Meteorización mejorada para capturar CO₂

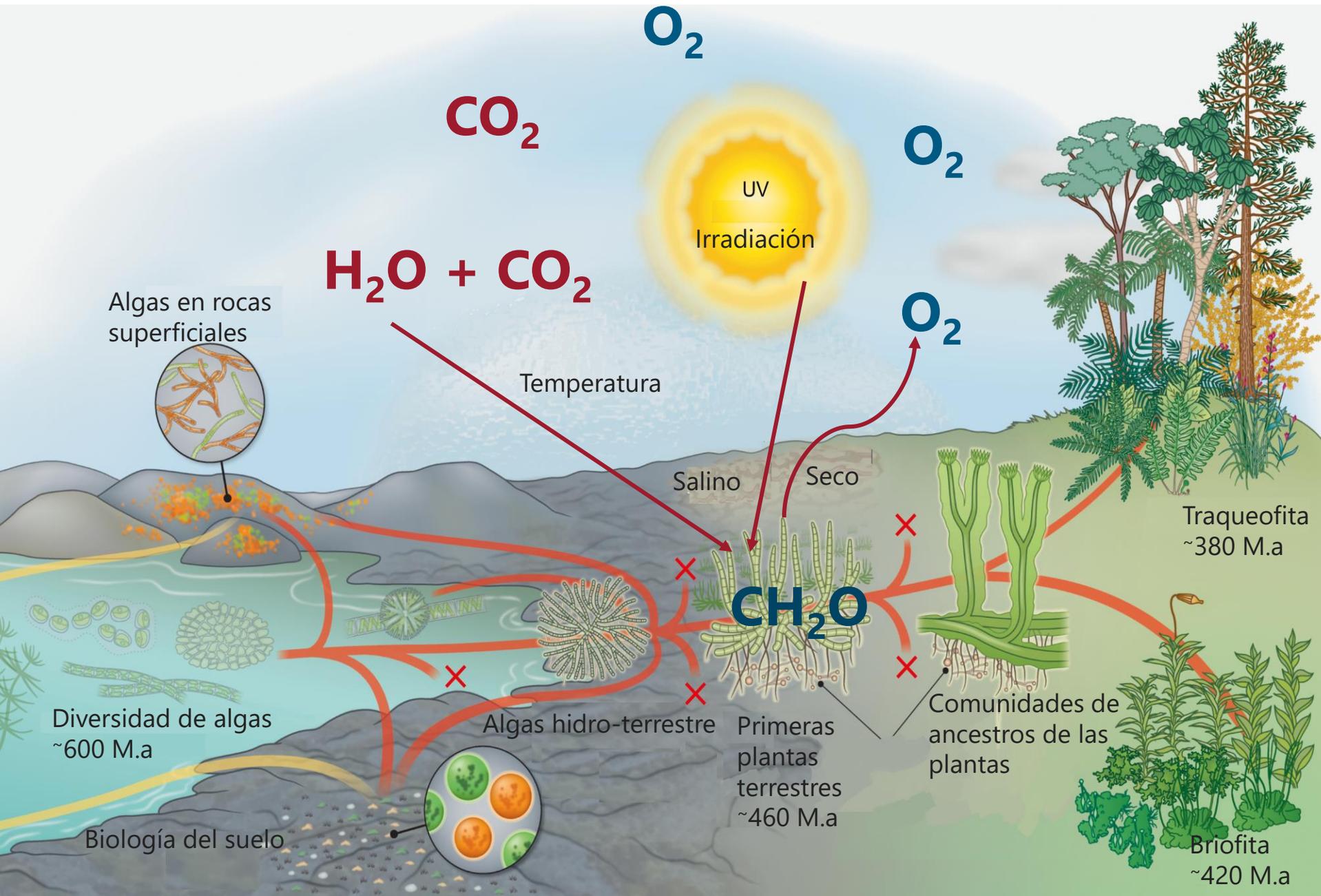
Roca silicatada o arcillas tipo serpentinas,
trituradas aplicadas al suelo.

Evento de mayor diversidad de la vida



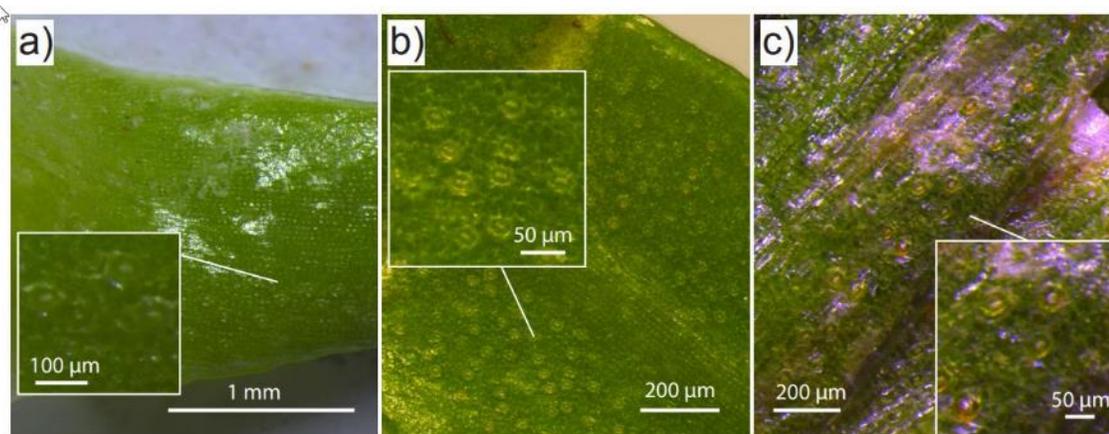
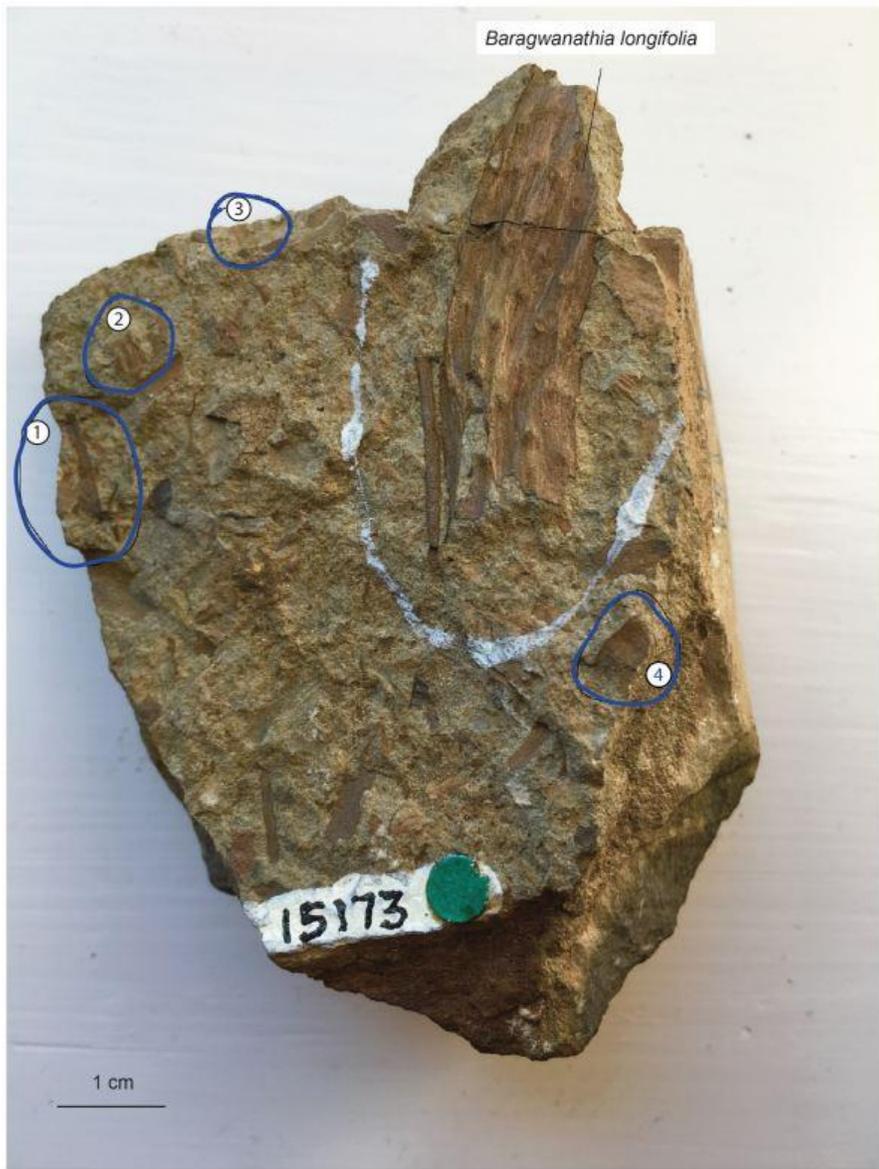
Dahl, et al. (2022). Nature Communications. doi.org/10.1038/s41467-022-35085-9.
 Lenton et al. (2018). COPSE reloaded. Earth-Science Reviews. doi:10.1016/j.earscirev.2017.12.004; Foster et al. (2017). Nature Communications. doi.org/10.1038/ncomms14845; Berner (1997). doi:10.1126/science.276.5312.544; Cleal & Thomas (2005). doi:10.1111/j.1472-4669.2005.00043.x

Fotosíntesis



Fürst et al. (2020). doi:10.1093/jxb/eraa007; Dahl, et al. (2022). Nature Communications. doi.org/10.1038/s41467-022-35085-9

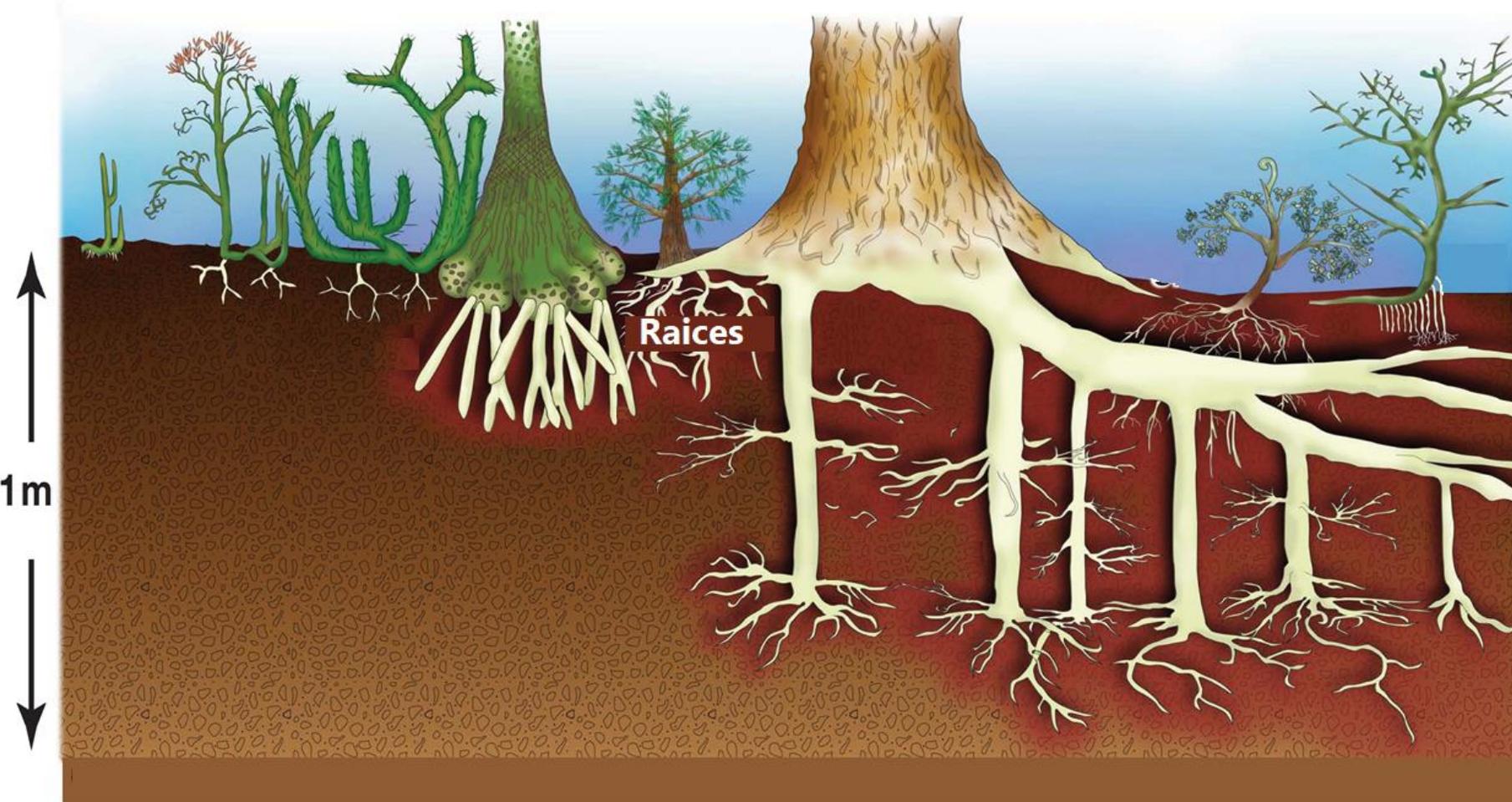
Genero Lycopodites



448 ± 51 ppm de CO₂

561 ± 100 ppm de CO₂ (modelo COPSE)
Edad ~409.1 ± 1.5 Ma (datado)

Árboles con raíces



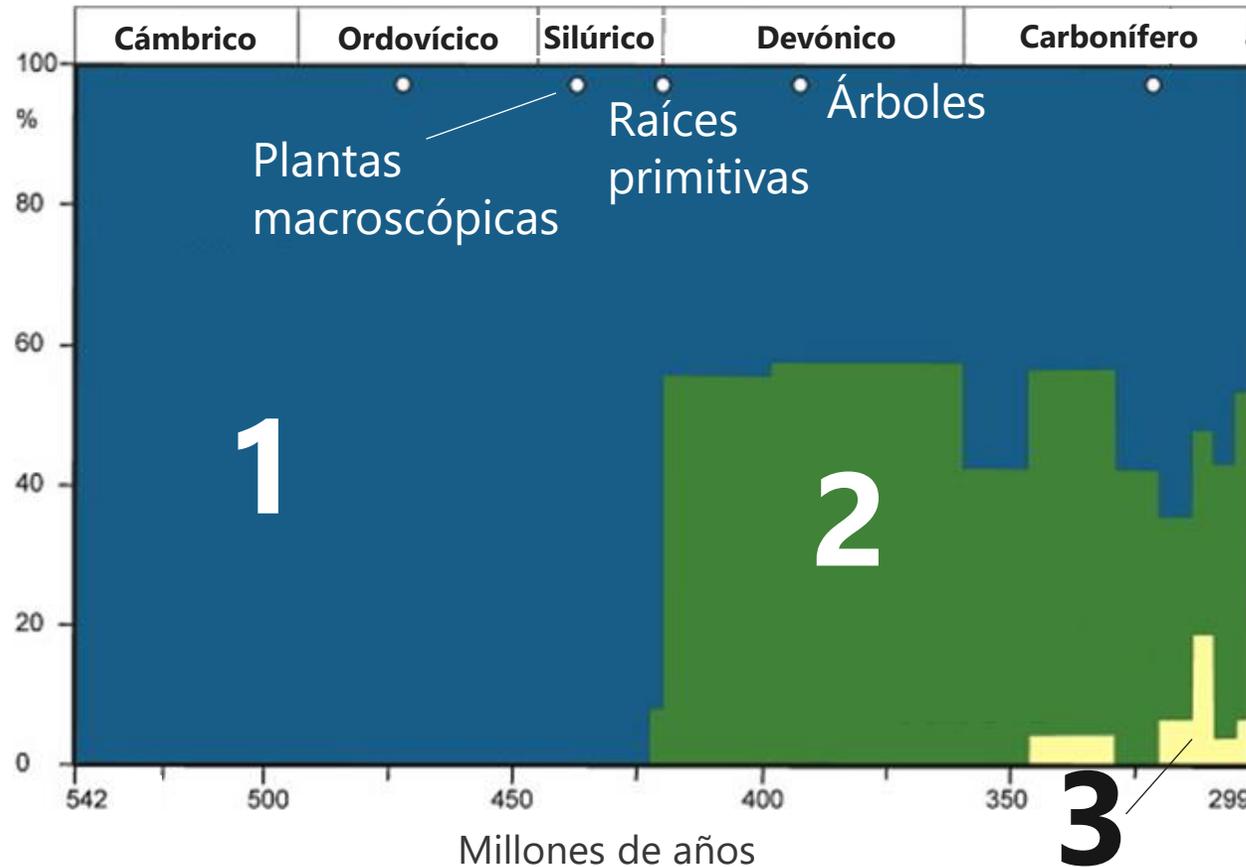
Inicio Devónico
420 Ma

Finales Devónico
360 Ma

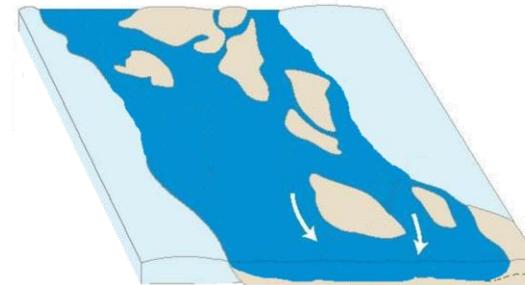
- Aceleración de la meteorización
- Disponibilidad de nutrientes
- **Formación de suelo**
- Regulación hídrica

Algeo & Scheckler. 1998. *Biological Sciences*.
DOI:10.1098/rstb.1998.0195; Thomas Algeo, múltiples
publicación desde 1993

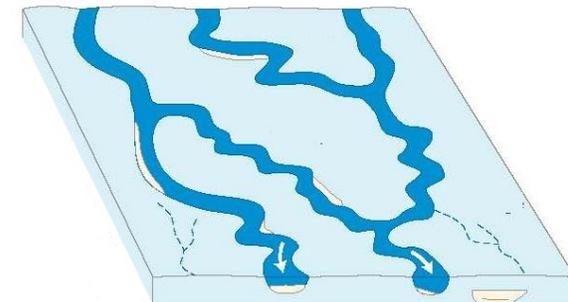
Evolución del sistema fluvial por la vegetación



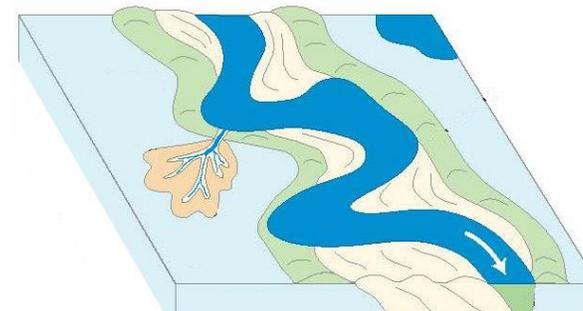
1. Río Lineal



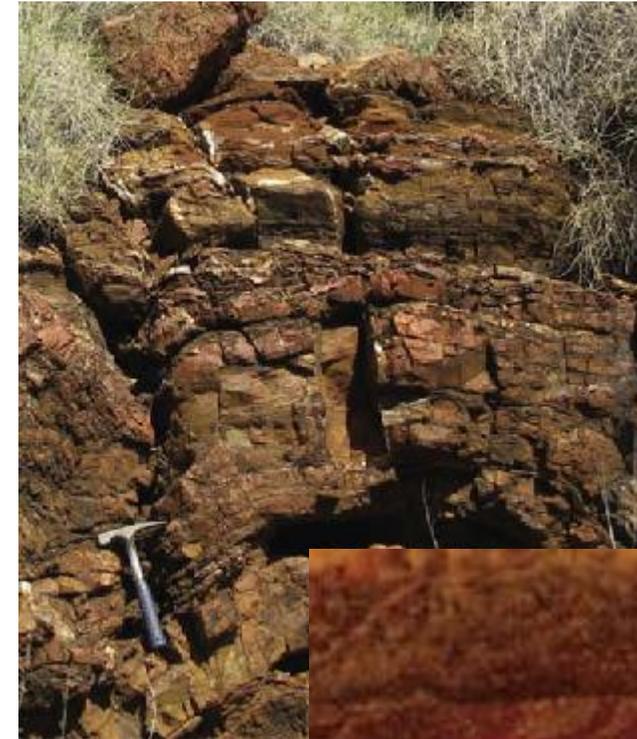
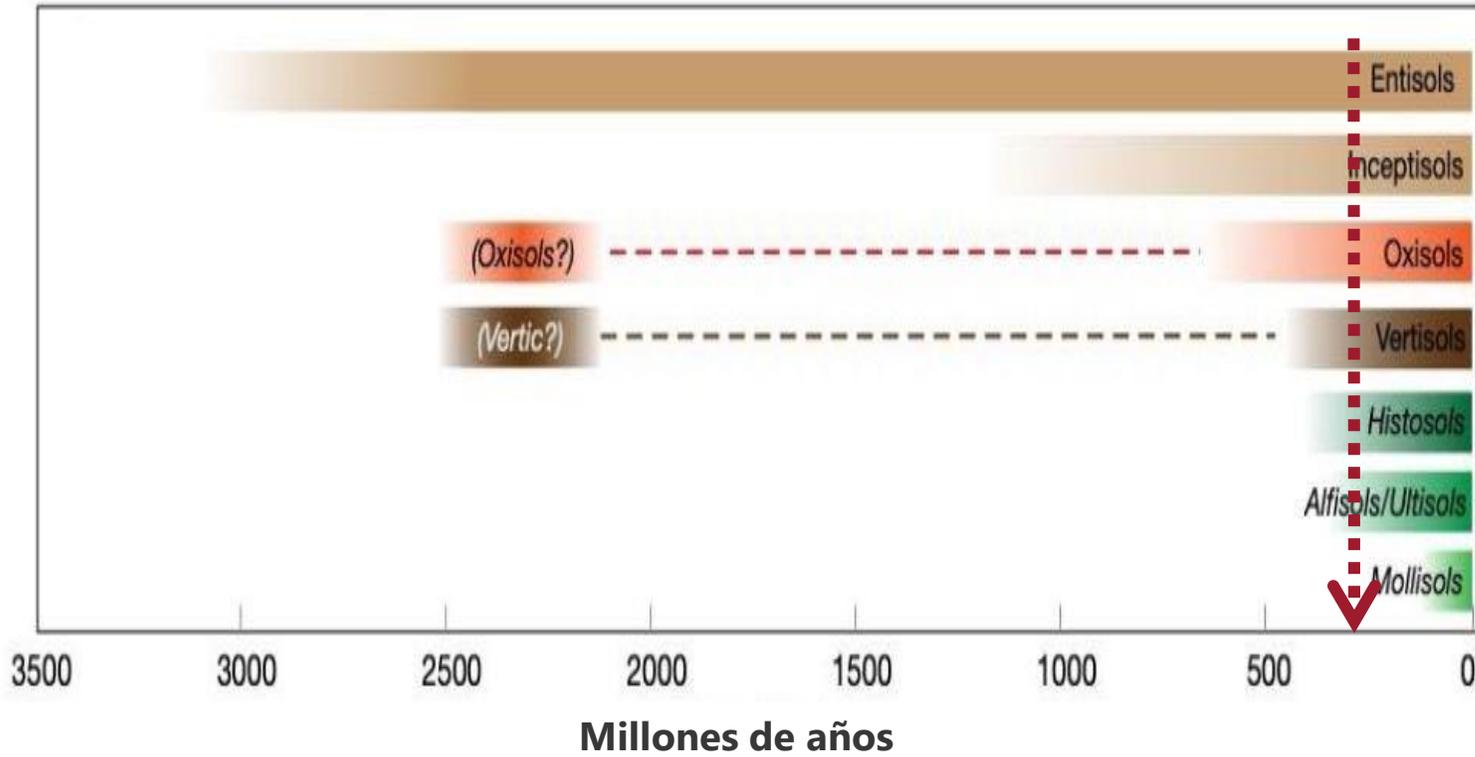
3. Río con unión de canales



2. Río trenzado



Paleosuelos



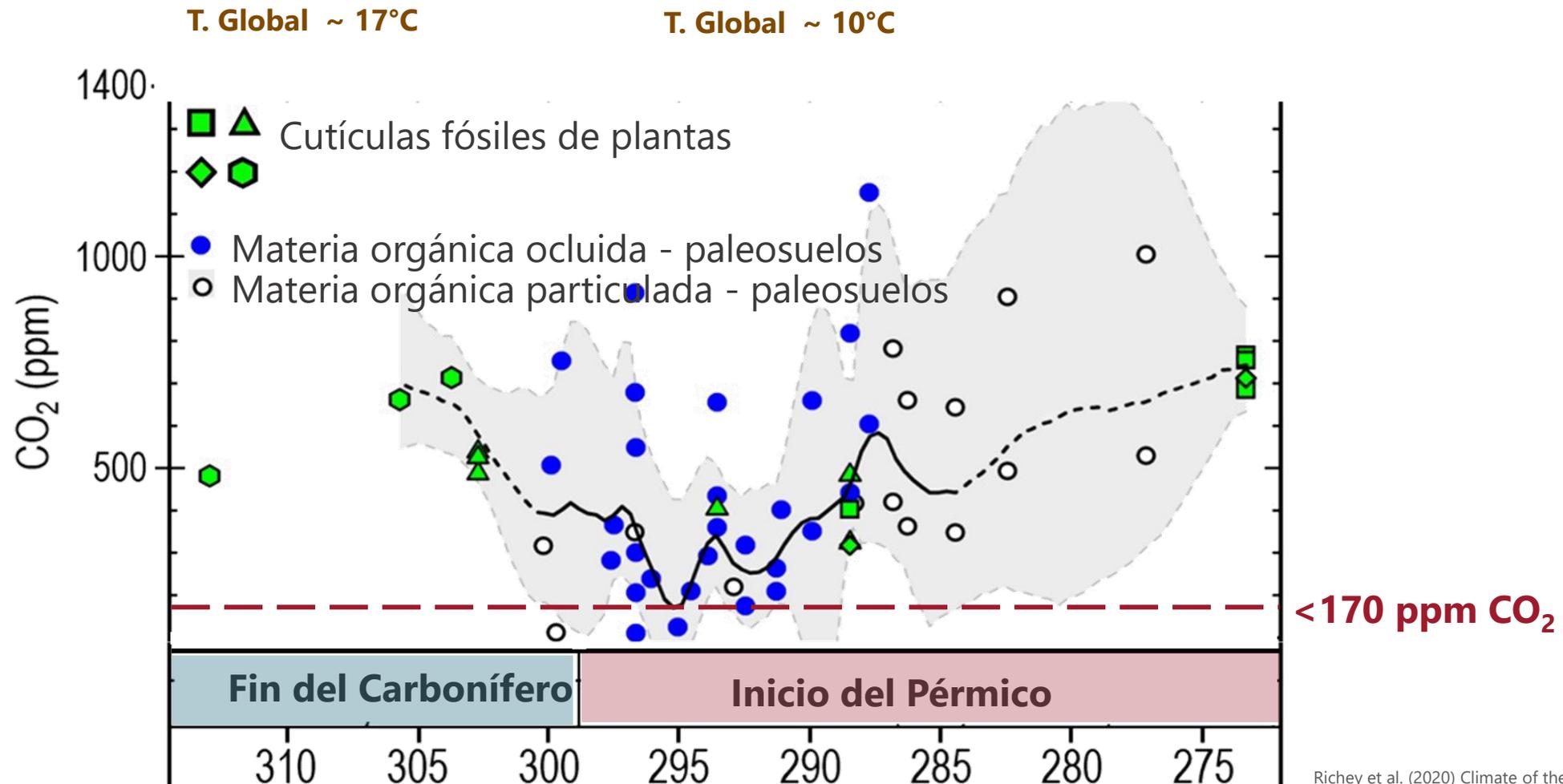
Finales del carbonífero

La acumulación de carbono orgánico pasó de 1% a 5% en peso, en un periodo de ~100 Ma.

La mayor tasa de producción y conservación de carbono orgánico resistente a la descomposición.



Colapso de las selvas del Carbonífero



Richey et al. (2020) Climate of the Past. doi.org/10.5194/cp-16-1759-2020; Correia & Murphy. (2020). Scientific reports. doi.org/10.1038/s41598-020-59461-x

Causas del enfriamiento que devasto las selvas del Carbonífero



Clima frio y seco

Múltiples sumideros



Devónico 400 Ma.



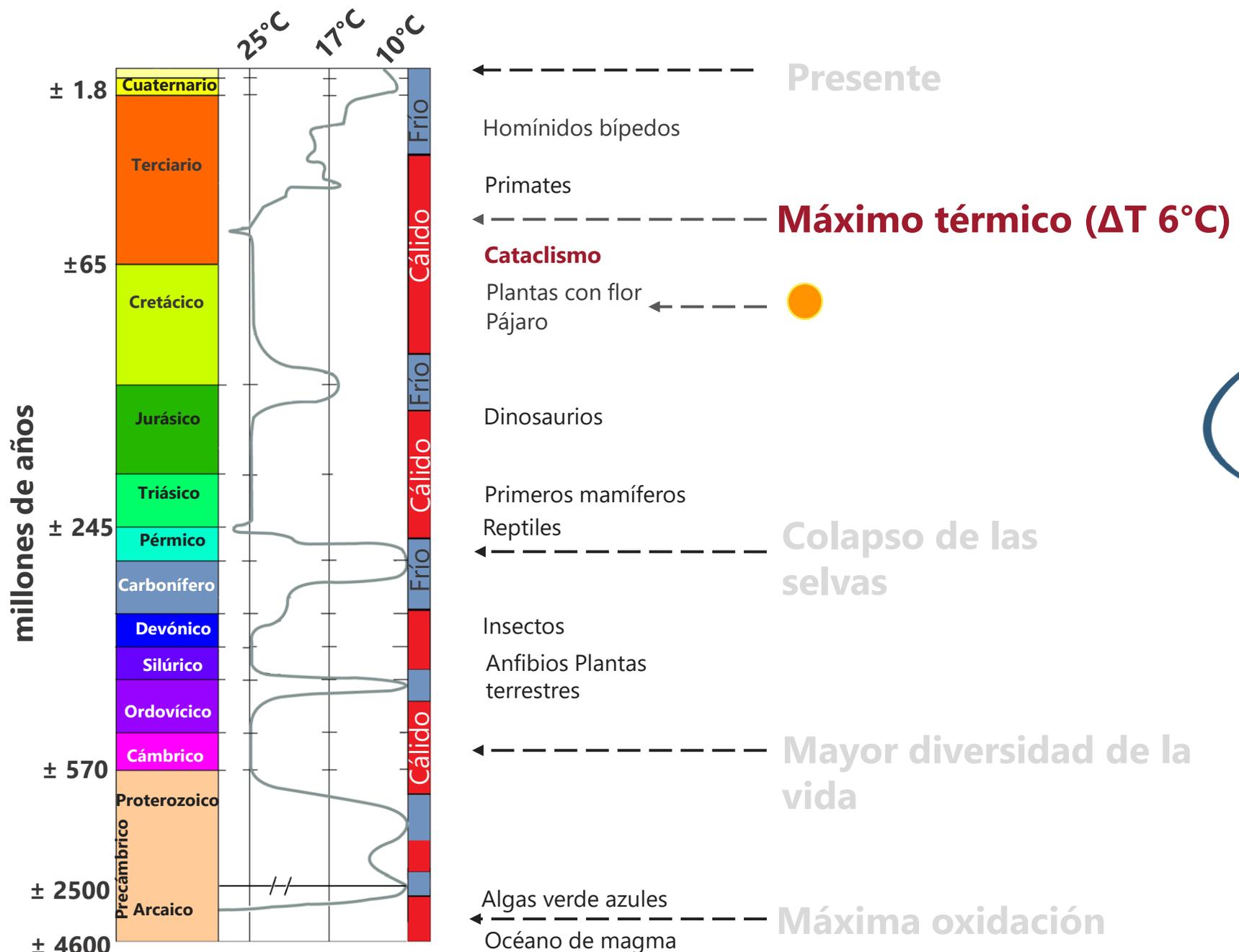
Carbonífero temprano 340 Ma.



Carbonífero tardío - Pérmico 300 Ma.

↑
Árboles

Correia & Murphy. (2020). Scientific reports. doi.org/10.1038/s41598-020-59461-x; Richey et al. (2020) Climate of the Past. doi.org/10.5194/cp-16-1759-2020; Imagen: The Geology of Colombia Multivolume book.



Cambios climáticos en la Tierra

Past climate changes. From Scotese, C.R., 2002. Global Climate History, PALEOMAP Project. Global climate of 2008.



NEWS

Ancestors of Coffee and Potatoes Survived Cataclysm That Killed the Dinosaurs

Discovery extends the record of nearly 40,000 species of flowering plants to the Cretaceous period

by University of Kansas

Feb 08, 2023 | 4 min read

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café



nature plants

[Explore content](#) ▾ [About the journal](#) ▾ [Publish with us](#) ▾ [Subscribe](#)

[nature](#) > [nature plants](#) > [brief communications](#) > article

Brief Communication | Published: 14 November 2022

Icacinaceae fossil provides evidence for a Cretaceous origin of the lamiids

[Brian A. Atkinson](#)

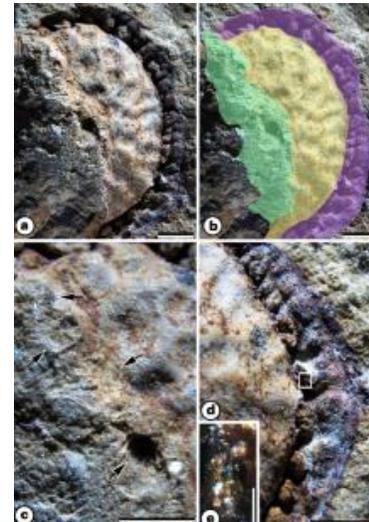
[Nature Plants](#) **8**, 1374–1377 (2022) | [Cite this article](#)

842 Accesses | 2 Citations | 173 Altmetric | [Metrics](#)

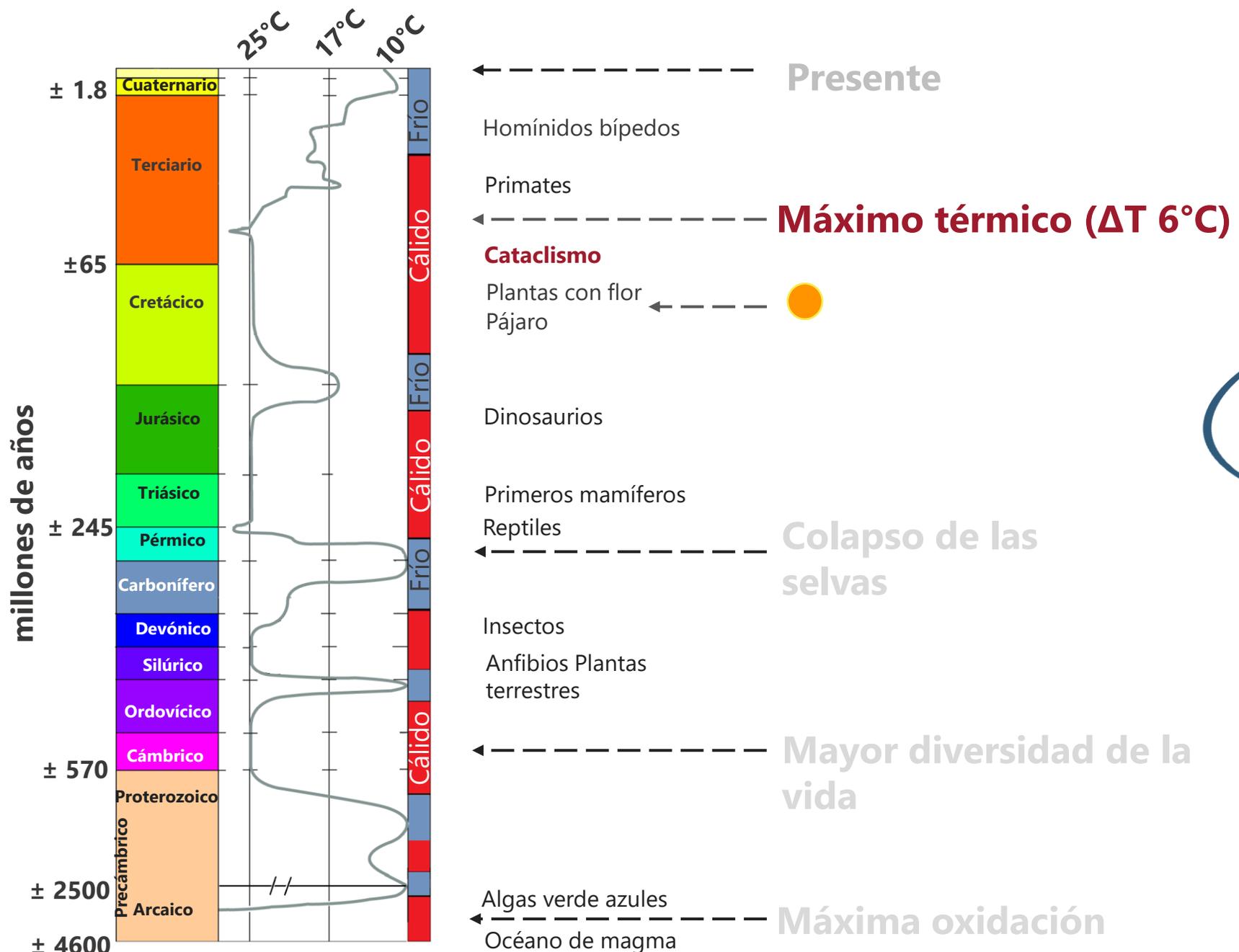
Subclase Asteridae Lamiidae
Familia Rubiaceae
Familia Solanaceae y otras

Abstract

Today the asterids comprise over 80,000 species of flowering plants; however, relatively little is known about the timing of their early diversification. This is particularly true for the diverse lamiid clade, which comprises half of asterid diversity. Here, a lamiid fossil fruit assigned to Icacinaceae from the Campanian of [western North America](#) provides important macrofossil evidence indicating that lamiids diverged at least 80 million years ago and sheds light on potential Cretaceous rainforest-like ecosystems.



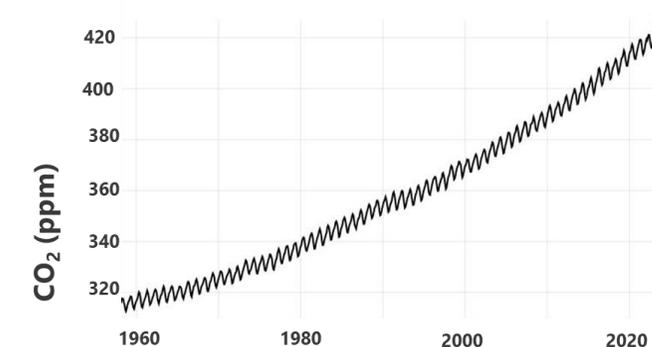
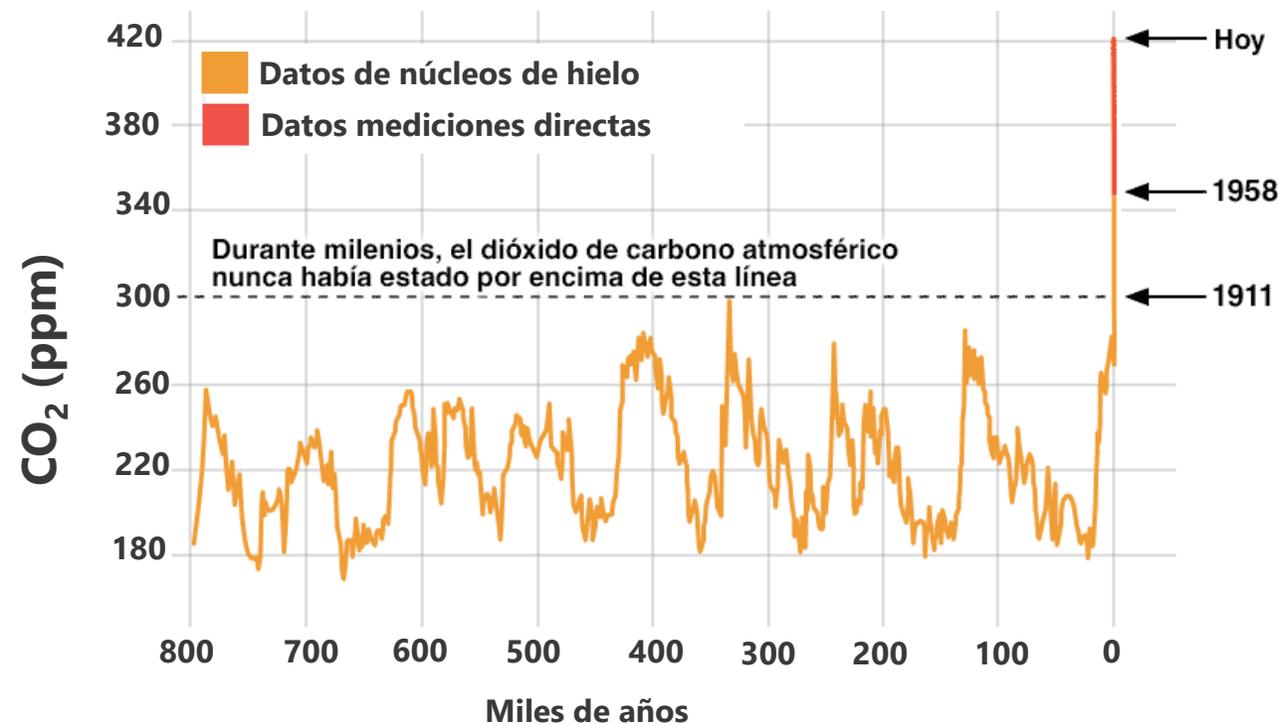
80 Ma



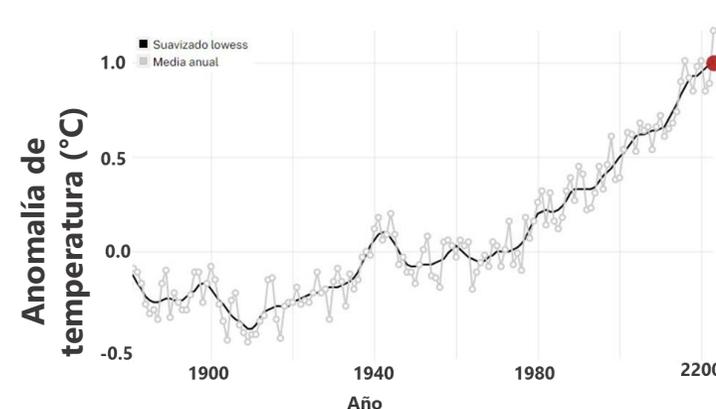
Cambios climáticos en la Tierra

Past climate changes. From Scotese, C.R., 2002. Global Climate History, PALEOMAP Project. Global climate of 2008.

Cambios climáticos en el Cuaternario - Presente

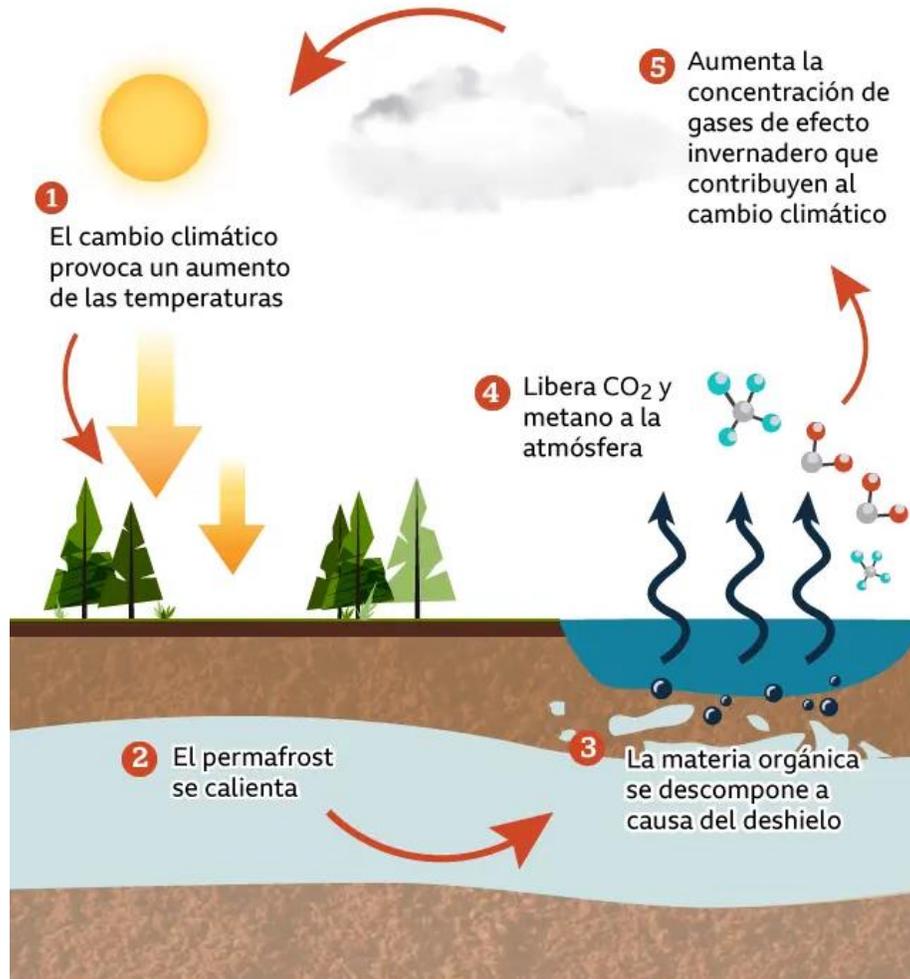


MEDICIONES DIRECTAS: 1958 A LA ACTUALIDAD
Fuente de datos: NOAA, medido en el Observatorio Mauna Loa



INDICE DE TEMPERATURA GLOBAL TIERRA-OCÉANO
Fuente de datos: Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) de la NASA. Crédito: NASA/GISS

Permafrost en el clima global



~1672 Gt C

Carbono orgánico
32,2–69,6 kg.m⁻².



Imagen: <https://ichef.bbci.co.uk>

Tarnocai et al.(2009). Global biogeochemical cycles. doi.org/10.1029/2008GB003327
Schaefer et al. (2014). Environmental Research Letters, doi:10.1088/1748-9326/9/8/085003

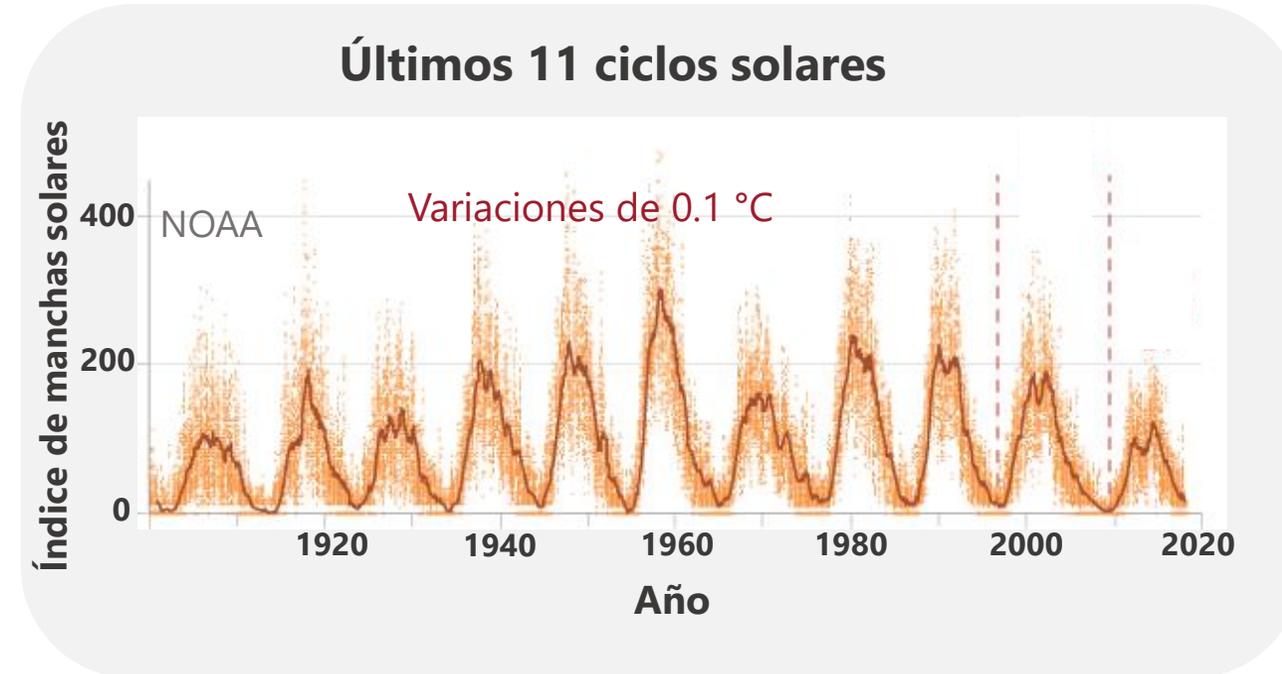
Aumentos de la temperatura en la actualidad

Forzantes externos

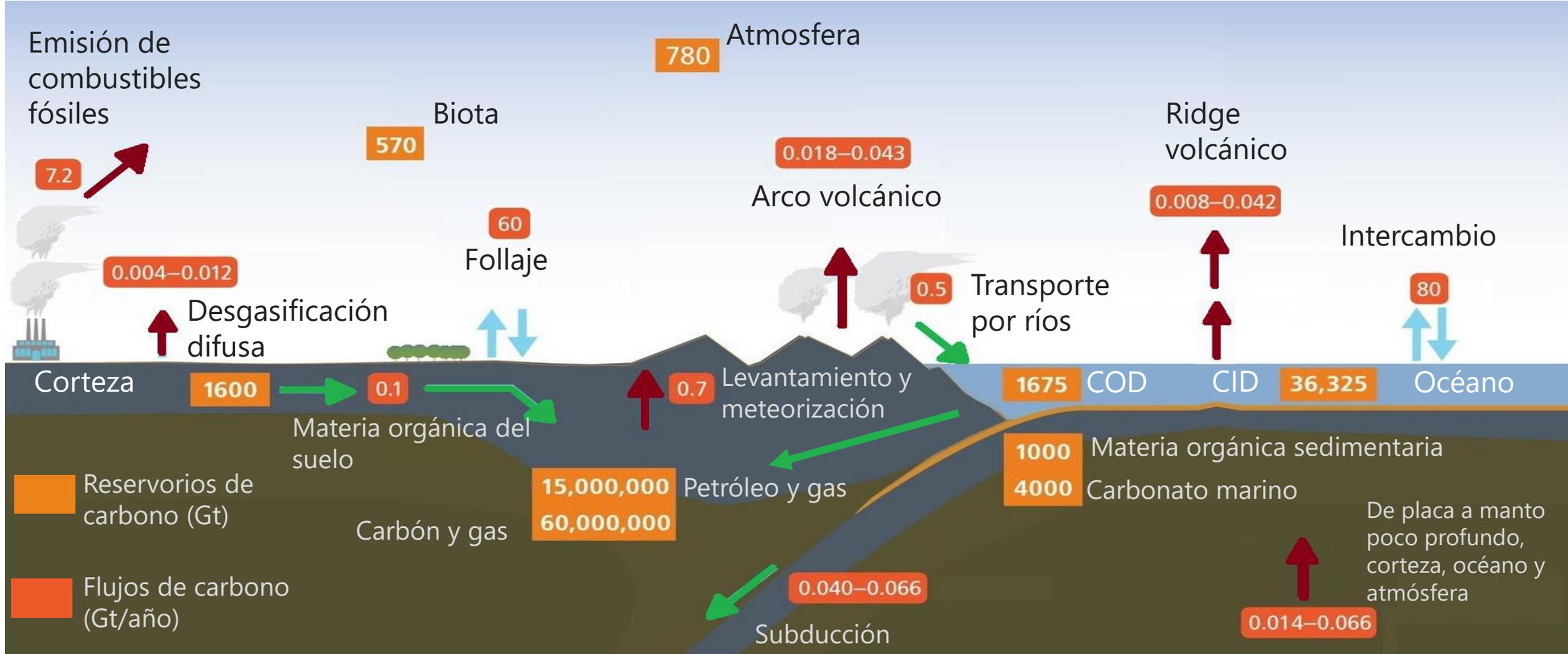
- ⊗ Variaciones galácticas
- ⊗ Variaciones solares
- ⊗ Ciclos de Milankovitch

Forzantes internos

- ⊗ Orogenia y epirogenia
- ⊗ Actividad volcánica
- ⊗ La circulación oceánica
- ✓ **Variaciones en la composición atmosférica**



Reservorios y flujos de carbono en la tierra

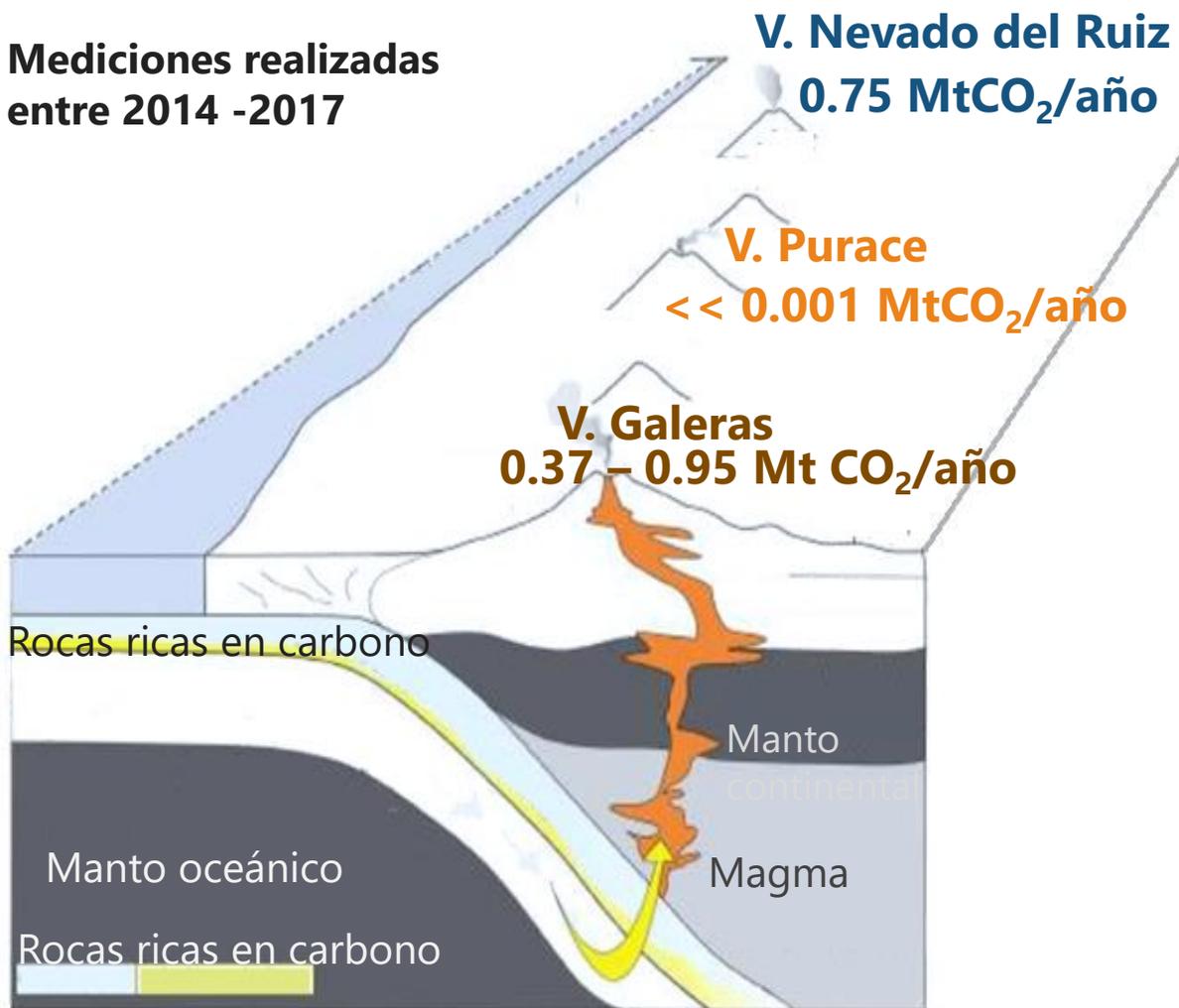


Fuente: Shock et al., En: Orcutt BN, Daniel I, Dasgupta R, eds. Deep Carbon: Past to Present. Cambridge University Press; 2019:415-446.

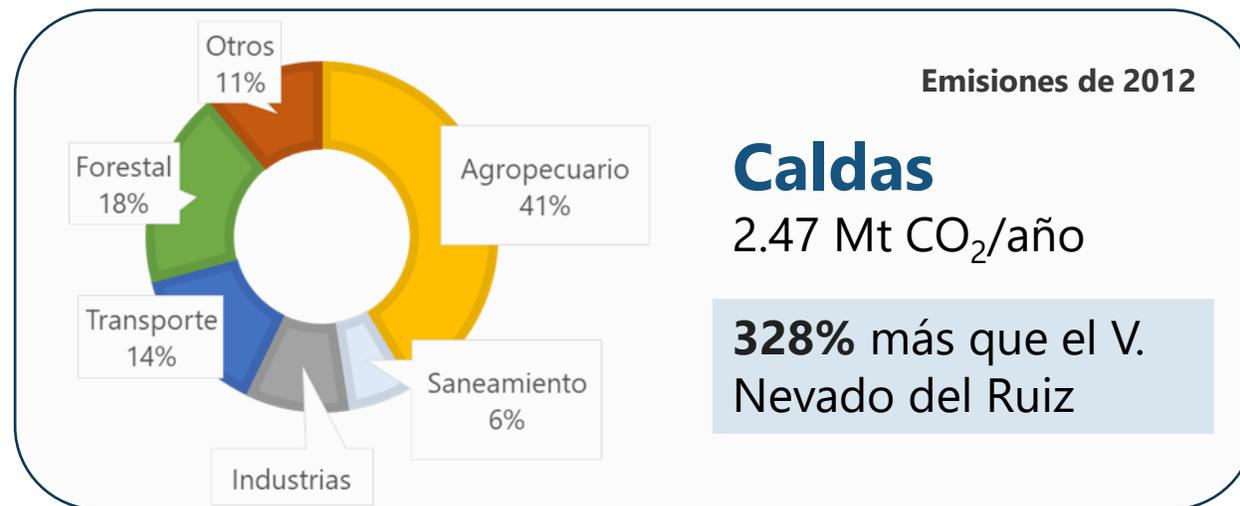
Emisiones de CO₂

Volcánicas

Mediciones realizadas entre 2014 -2017

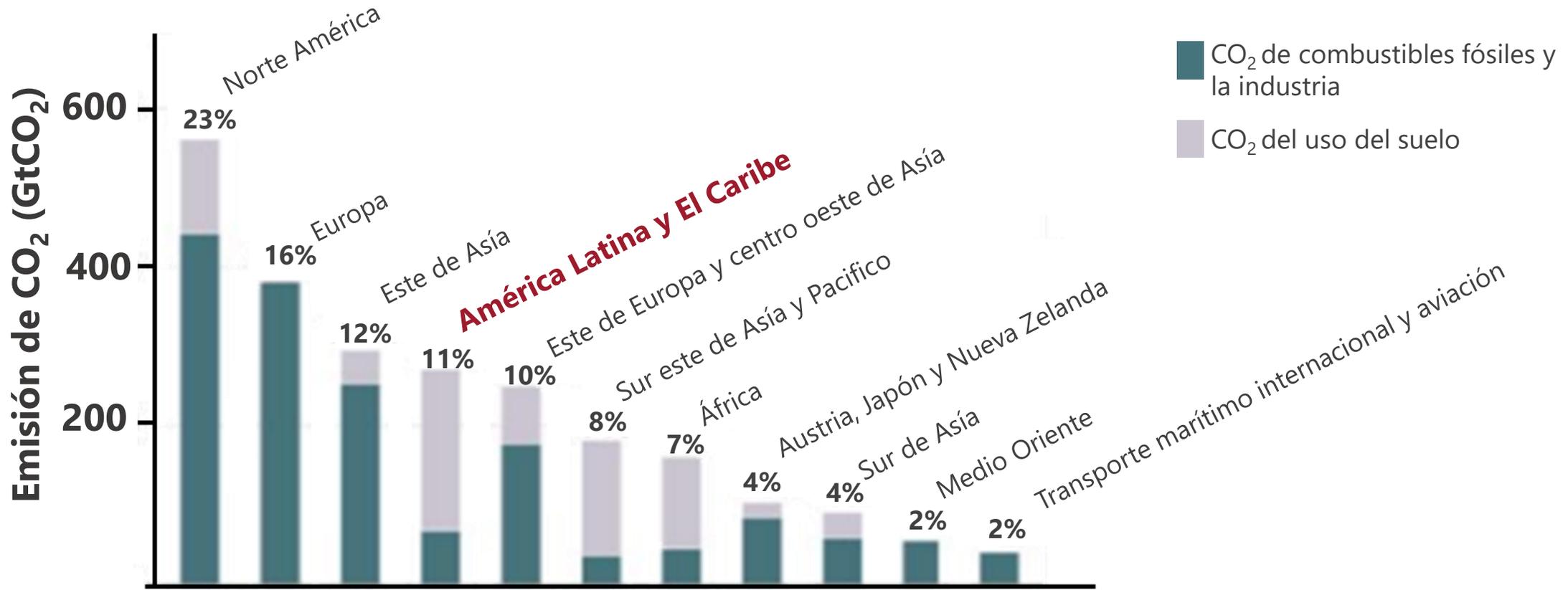


Antropogénicas



Datos emisiones antropogénicas: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2016. Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia.

Emisiones netas acumuladas históricas de CO₂ antropogénico por región entre 1850 y 2019



Metas globales - Acuerdo de París

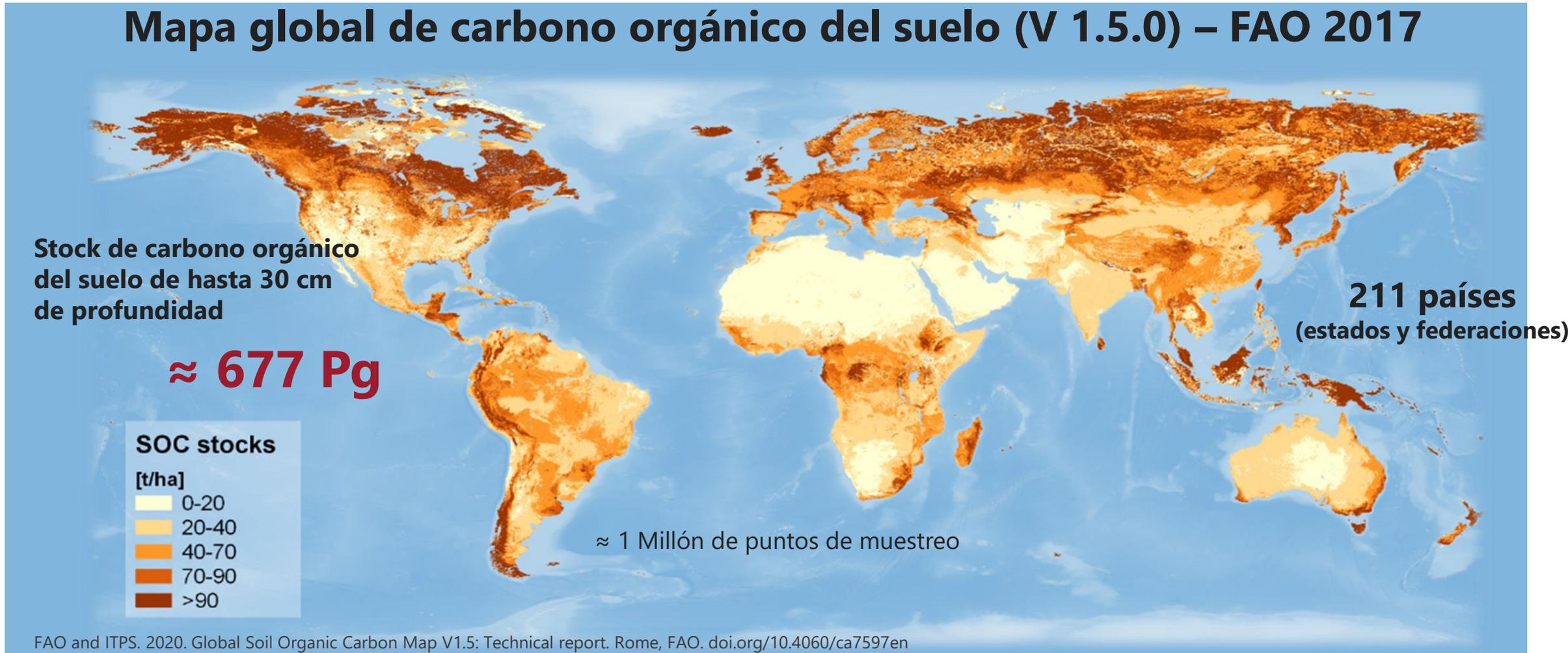
- En 2050 alcanzar un equilibrio entre las **emisiones** producidas por el hombre y aquellas que **capturan los sumideros naturales**.



Mitigación y adaptación al cambio climático.

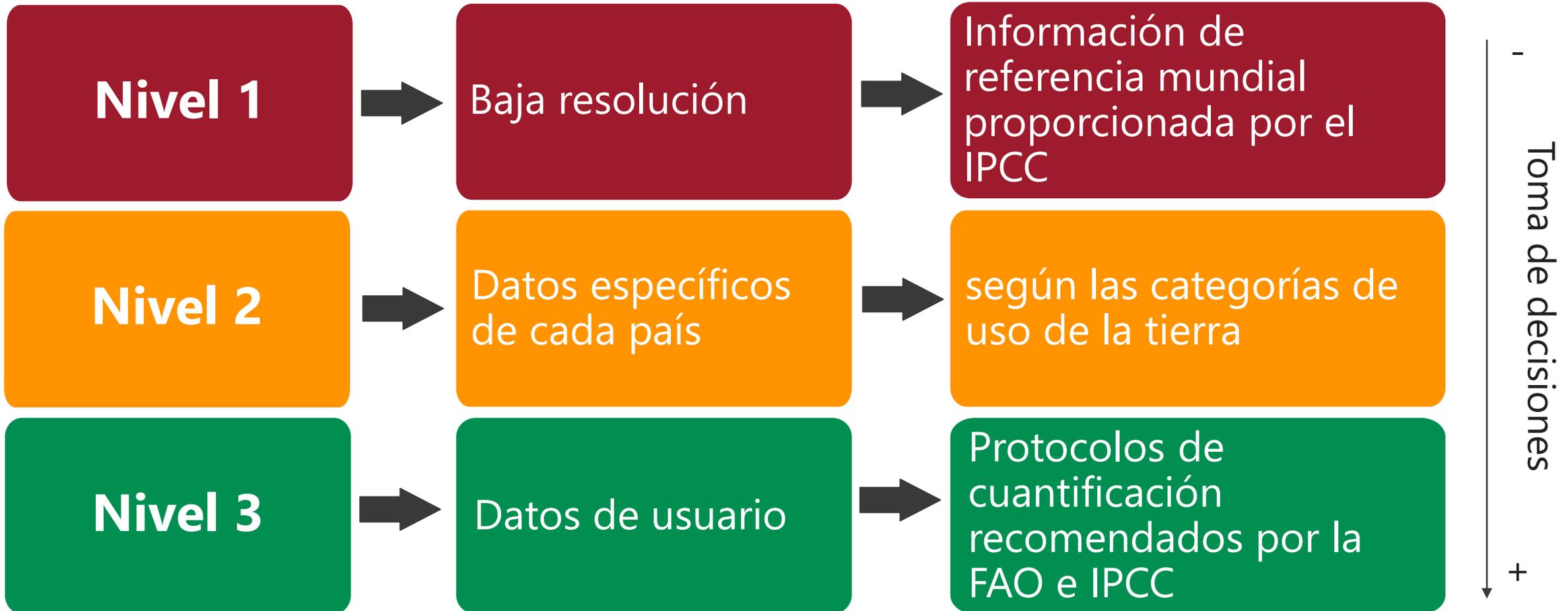
El suelo como sumidero de carbono

Mapa global de carbono orgánico del suelo (V 1.5.0) – FAO 2017



Cuantificación del carbono orgánico del suelo

Niveles de información para monitoreo, cuantificación y verificación



Nivel 3. Indicado para toma de decisiones

Parámetro de cuantificación (FAO, IPCC) COS Nivel 3

Diseño de muestreo

Contenido de carbono orgánico total, asociado y particulado

Tiempo para la toma de las muestras de un mismo estudio (máximo 5 años)

Densidad aparente evaluada en laboratorio

Profundidad de muestreo (hasta 30 cm para uso agrícola)

Mapeo validado

Registro de toma de muestra

Datos del laboratorio donde se realizaron los análisis

Investigación **SUE105003:**
Estimación del contenido de
carbono orgánico del suelo
(COS) en la zona cafetera
colombiana

Inicio 2024 – Finaliza 2028



**CUIDEMOS LA
TIERRA,
POSIBLEMENTE
SOLO EN ESTE
PLANETA
EXISTE EL CAFÉ**

Gracias

Cenicafé

Centro Nacional de Investigaciones de Café

Reserva Forestal Protectora Planalto

www.cenicafe.org



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC



@cenicafefnc



MÁS FEDERACIÓN