

Reconstruyendo ambientes del pasado a partir de suelos fósiles

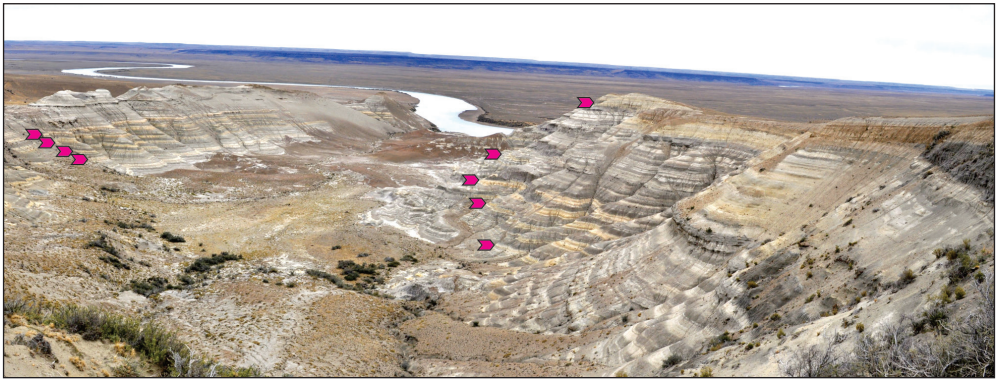


María Sol Raigemborn

Es bien conocida la utilidad de los fósiles, tanto plantas como animales, en la reconstrucción de ambientes del pasado. Sin embargo, existen otros atributos no tan conocidos que son una herramienta muy valiosa cuando se trata de entender como fueron las condiciones terrestres en tiempos muy lejanos: los suelos antiguos o paleosuelos.

Un paleosuelo o suelo fósil es un suelo que se formó en un paisaje del pasado debido a la modificación que los organismos (plantas y animales) y las condiciones ambientales ejercieron sobre una roca o material inconsolidado que estaba expuesto en la superficie de la Tierra (Fig.1).

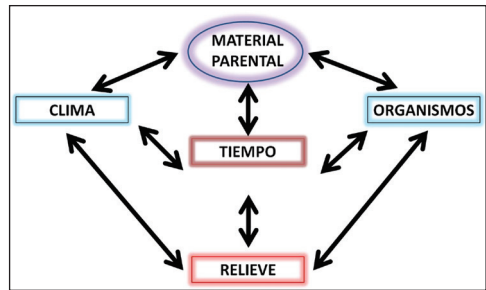
Los suelos se forman en respuesta a períodos de estabilidad del paisaje relativamente extensos en el tiempo; es decir, momentos de la historia de la Tierra en los cuales hay nula o muy escasa acumulación de material en una cuenca sedimentaria. Durante estos lapsos se produce una interesante interacción entre el clima, los organismos, el paisaje o relieve y el material que conforma este paisaje (material parental) de manera sostenida en el tiempo (Fig. 2) que resultará en la formación de un suelo. Así en un suelo fósil, queda preservada una gran cantidad de información del ambiente que existía en el momento de su formación. Develar estos datos aporta una pieza más al rompecabezas de reconstruir la historia ambiental del pasado de nuestro planeta.



1. Excepcional vista de la Formación Santa Cruz (17 Ma) en la zona central del río Santa Cruz donde se registran varios niveles de paleosuelos (flechas).

¿Es posible reconocer paleosuelos?

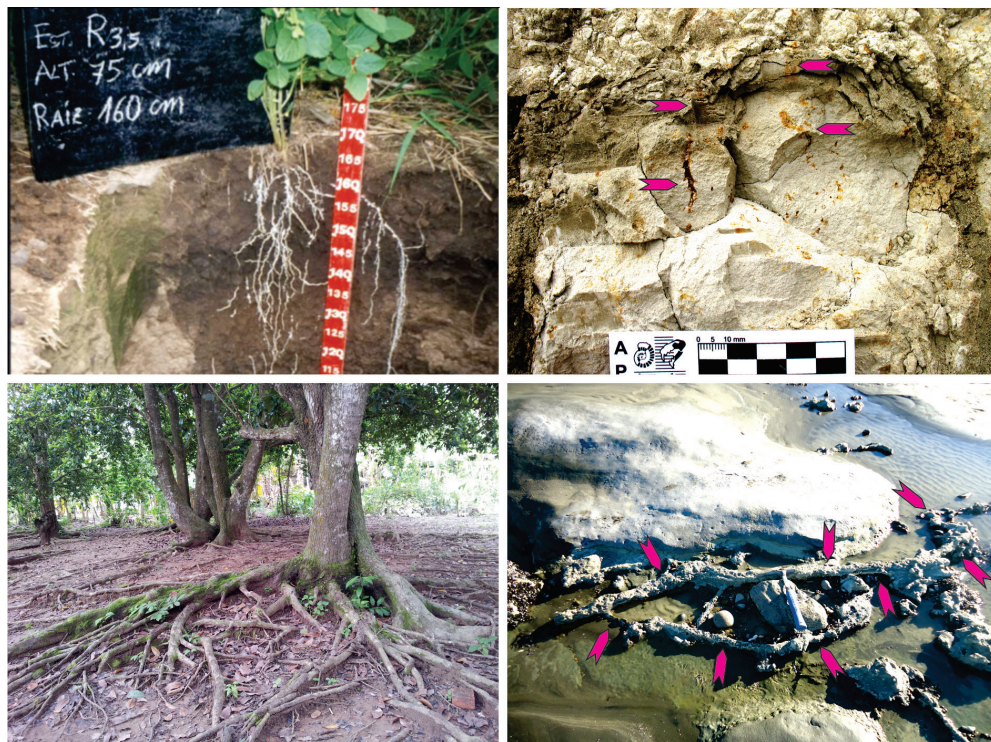
Es fácil imaginarse cómo es un suelo actual: una capa fina de material suelto que soporta la vida sobre la Tierra y que recubre la superficie de los continentes. ¿En el pasado habrá sido igual? La respuesta es afirmativa: también en el pasado los suelos se comportaron de esta manera, sólo que bajo condiciones ambientales variables a lo largo del tiempo geológico y soportando una vida claramente diferente a la actual. En una sucesión de rocas sedimentarias de origen no



2. Componentes que interactúan para formar un suelo.

marino (fluvial, lacustre, eólica, deltaica) posiblemente se preserven paleosuelos (Fig. 1). Si bien a primera impresión los paleosuelos parecerían ser masivos y carentes de rasgos que permitan diferenciarlos como tales, los geólogos reconocemos características específicas propias que llamamos pedorrasgos (*pedo* proviene del griego *pedon*, utilizada para referirse a un suelo). Hay tres grandes grupos de pedorrasgos posibles de visualizar de manera más o menos sencilla en el campo ya que son similares a los del suelo actual: 1- trazas o marcas de raíces; 2- horizontes de suelo; y 3- estructuras de suelo. A esta lista podemos agregarle otros pedorrasgos como las concentraciones de determinados minerales (nódulos) que en general resaltan por su coloración, las superficies muy lisas y brillantes, llamadas *slickensides*, que surgen al romper algunos suelos con una piqueta, y las marcas dejadas por la actividad de algún animal que habitó el suelo. Estas últimas, junto con las marcas de raíces, reflejan el componente biótico del suelo.

Las trazas de raíces corresponden a plantas vasculares terrestres que aparecen en el Silúrico (440 millones de años atrás), con lo cual para rocas más antiguas, este



3. Patrones de ramificación similares entre raíces actuales (izquierda) y fósiles (derecha).

tipo de pedregos no puede utilizarse en la identificación de un paleosuelo. Estas trazas presentan un patrón ramificado con diámetros que disminuyen en profundidad, aunque en otras oportunidades se ramifican y entrecruzan horizontalmente (Fig. 3).

Los horizontes de suelo son las capas internas de un suelo/paleosuelo que se identifican por su espesor, el tamaño de grano del material que lo compone y su color (Fig. 4).

Las estructuras de suelo se refieren al aspecto fragmentado que puede presentar un paleosuelo o a la carencia de tal condición (masivo) (Fig. 5).

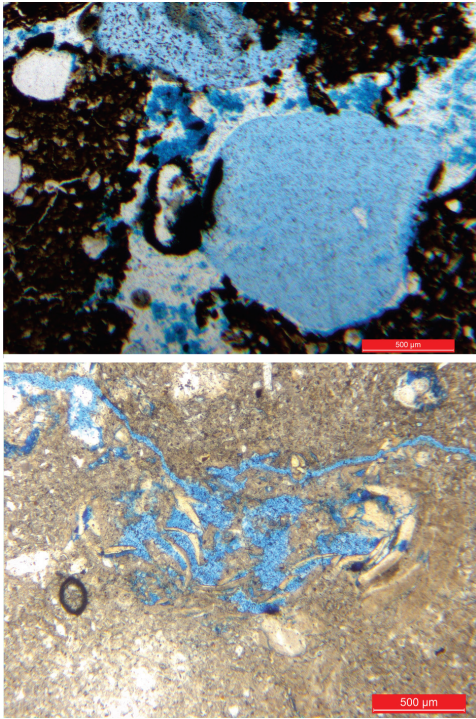
Un paso más adelante en el reconocimiento de los paleosuelos corresponde a los análisis de laboratorio. Estos métodos, relativamente sencillos y accesibles en el ámbito científico-académico, permiten por un lado confirmar la presencia de un paleosuelo, y por otro lado ampliar el conocimiento sobre sus atributos o propiedades. Por ejemplo, el microscopio es una herramienta muy utilizada en el estudio de los suelos antiguos ya que nos revela sus aspectos microscópicos. La actividad de los invertebrados de un suelo, como por ejemplo las lombrices, se traduce en un laberinto de túneles y cámaras meniscadas que se interconectan, y



4. Horizontes de un suelo rojo, laterítico, actual (izquierda) y fósil (derecha). Un patrón reticulado en el horizonte más basal del suelo moderno se repite en su equivalente fósil (flechas).



5. Estructura llamada granular, por su semejanza con gránulos más o menos redondeados, en un suelo actual (izquierda) y en uno fósil (derecha).



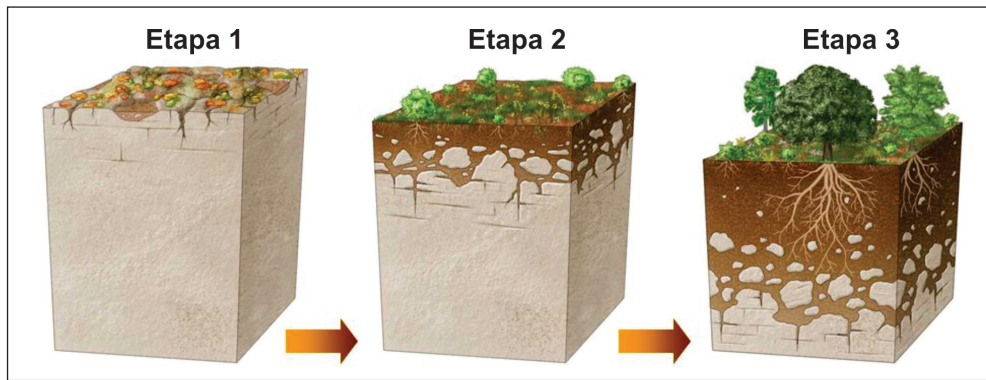
6. Actividad de lombrices vista al microscopio en un suelo actual (arriba) y en uno fósil (abajo). Las partes teñidas de celeste indican cavidades o vacíos.

en un sinfín de pellets fecales que rellenan estas cavidades. A escala microscópica puede tenerse un extraordinario detalle de la actividad de estos organismos tanto en suelos del presente como del pasado (Fig. 6). Análisis de mayor detalle, como la determinación de la mineralogía mediante Rayos X o microscopía electrónica de barrido, o el establecimiento de las proporciones de elementos químicos que los integran, brinda valiosísima información complementaria al estudio de los paleosuelos.

Las características que presentan los paleosuelos, tanto a escala macroscópica (en el campo) como a escala microscópica (bajo el microscopio), sumado a los aspectos composicionales de los mismos (determinado por otros métodos de laboratorio), permiten su clasificación. Así, los paleosuelos podrán ser clasificados del mismo modo que los suelos actuales, por ejemplo con la Taxonomía de Suelos, o podrán ser clasificados con nombres creados exclusivamente para ellos.

El camino del sustrato al paleosuelo

Los atributos de los paleosuelos (pedorrasgos, mineralogía, composición) responden a los procesos que los formaron, a las condiciones bajo las cuáles éstos tuvieron lugar y a la intensidad con la que éstos actuaron. Para comprender la formación de un suelo podemos imaginar un camino con un punto de partida (el sustrato rocoso o aún inconsolidado: etapa 1) y uno de llegada (el suelo: etapa 3) (Fig. 7). El recorrido (etapa 2, Fig. 7) entre ambos puntos incluye una serie de procesos que comienza con la alteración del material rocoso original. Esta alteración se debe a la acción conjunta de los factores ambientales y biológicos. El accionar de la lluvia, el viento, las heladas, la temperatura y la amplitud térmica diaria, entre otros, a la largo del tiempo van a producir la fragmentación del material original y reacciones químicas y mineralógicas entre sus componentes. La actividad biológica, asociada a la acción de los organismos del suelo y la incorporación de sus cuerpos al morir, aporta material orgánico al sustrato original (lo humifica), consume elementos químicos



7. Formación de un suelo: desde el sustrato original (etapa 1), pasando por los procesos de alteración (etapa 2) hasta la formación del suelo (etapa 3).

que sirven de nutrientes para los organismos y removiliza las partículas del suelo logrando la mezcla de sus componentes.

Estas modificaciones pueden verse en el campo como cambios en el color original del material rocoso y en el aspecto del mismo ya que se torna más deleznable hasta pulverulento, se pierde la estructura original del material rocoso y comienzan a formarse los pedregos diagnósticos: las raíces se profundizan, se forman nuevas estructuras propias del suelo y se produce la diferenciación del material inicialmente homogéneo en horizontes de suelo (Fig. 7, etapa 3).

Apasionantes reconstrucciones del pasado

Para la formación de un paleosuelo, al igual que para un suelo, se necesita de la interacción de cinco componentes, llamados factores formadores de suelos, que actúan de manera conjunta (Fig. 2). El material rocoso o sustrato (material parental), el clima, la pendiente del terreno y las condiciones de drenaje (relieve) y los organismos que colonizaron el sustrato. Finalmente, el tiempo en el que permanezcan activos estos factores condicionará su formación. Cada uno de estos factores deja su impronta en los paleosuelos, produciendo un efecto reconocible en cada caso de estudio.

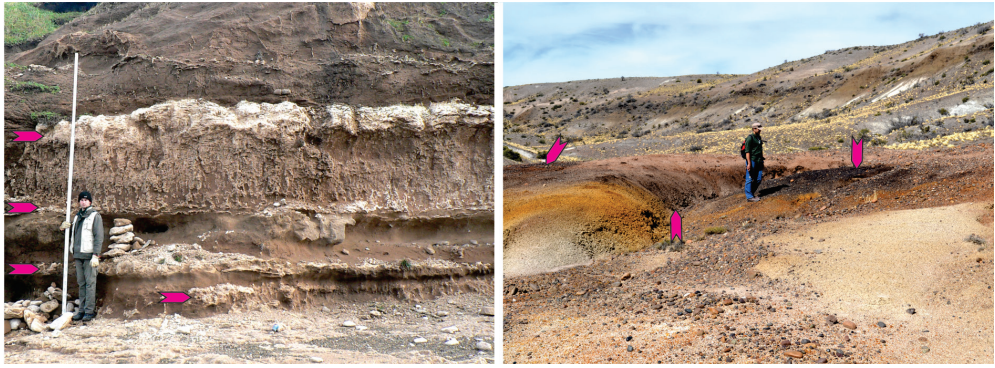


8. Material parental incipientemente (izquierda) y profundamente (derecha) alterado. Las flechas marcan las estructuras sedimentarias (finas capas) aun preservadas en el paleosuelo de poco desarrollo. La coloración notablemente ha cambiado de blanco a rosado con el avance de la alteración.

Entonces, si logramos reconocer paleosuelos a través de sus pedregos y sus características mineralógicas y químicas, clasificarlos e identificar los procesos formadores, podremos comenzar a recorrer el camino de la reconstrucción de las condiciones ambientales de la superficie de la Tierra a lo largo de su historia.

El material parental es el punto de partida para los procesos que dan lugar a la formación del suelo. En un estado inicial, los suelos son similares a su material parental, pero, con el paso del tiempo, cada vez son menos los rasgos del material parental que se preservan, hasta que finalmente el suelo toma identidad propia (Fig. 8). Por ejemplo, desde el Cretácico (100 millones de años atrás) y hasta el Plioceno (4 millones

Los aspectos composicionales y mineralógicos de los paleosuelos reflejan las precipitaciones, temperaturas y condiciones de estacionalidad climática del pasado, y permiten reconstruir el paleoclima; es decir, el clima que existía al momento de la formación de ese suelo.



9. Varios paleosuelos apilados ricos en carbonato de calcio (niveles blancos señalados con flechas; izquierda) y paleosuelo negro/ocre ricos en óxidos de manganeso/hierro (flechas; derecha).

de años atrás) se desarrollaron en nuestra Patagonia, especialmente en Chubut y Santa Cruz, paleosuelos sobre material parental volcánico (Fig. 8). Es decir, sobre materiales originados en los volcanes activos de ese entonces y que fueron transportados por el agua y el viento hasta su depositación en cuencas sedimentarias. Algunos de estos paleosuelos aun preservan sus rasgos originales (color, estructura original de la roca), mientras que otros han sido profundamente modificados (Fig. 8). Reconstrucciones paleoclimáticas a partir de suelos del Eoceno

(45 millones de años atrás) del norte de Santa Cruz, indican que para ese entonces esta zona de la Patagonia que hoy es un verdadero desierto, tenía un clima cálido y húmedo con un régimen estacional de las precipitaciones. Condiciones similares se dan actualmente, por ejemplo, en nuestra Mesopotamia.

También se reconocieron climas cálidos y húmedos en sectores aún más australes de Patagonia (sur de Santa Cruz) para el Cretácico, hace unos 100 millones de años atrás, cuando los dinosaurios gobernaban estas tierras.

Los atributos de los paleosuelos también reflejan la posición de la tabla de agua o nivel freático para el momento de su formación. Por ejemplo, si el suelo en formación está por encima del nivel freático, éste estará bien drenado, pero si está cercano a ella, acumulará agua y quedará encharcado. Si el suelo se ubica en la zona de fluctuación de la tabla de agua, éste estará estacionalmente encharcado o moderadamente bien drenado. Hay otras características de los paleosuelos que permiten identificar condiciones de drenaje, por ejemplo, la abundancia de carbonato de calcio en paleosuelos del Plio-Pleistoceno (3 millones de años atrás) de la zona de Mar del Plata dan indicios de haberse desarrollado en sectores relativamente altos de la planicie de inundación de un río, donde hubo buenas condiciones de drenaje y un nivel freático profundo (Fig. 9). Contrariamente, algunos paleosuelos del Eoceno del sur de Chubut y norte de Santa Cruz indican que en zonas localmente deprimidas de la planicie de inundación (charcos de agua estancada) se dieron condiciones de anegamiento o



10. Suelo fósil desarrollado en relativamente poco (izquierda) y mucho (derecha) tiempo.

encharcamiento producto de una tabla de agua alta. Los colores oscuros debido a la presencia de óxidos de manganeso y hierro, entre otros muchos pedregos, atestiguan tales condiciones (Fig. 9).

Si bien las plantas son la parte más obvia de los habitantes del suelo, otros organismos (invertebrados, hongos, microbios, líquenes, musgos) también juegan un rol importante en su formación. Es así que no sólo diferentes tipos de organismos pueden interpretarse a partir del análisis de los paleosuelos, sino que también diferentes ecosistemas pueden ser inferidos a partir de ellos (selvas, bosques, pastizales). Esto se debe a que los paleosuelos preservan el registro de la vegetación que fue más significativa para su formación durante el tiempo en el que el suelo estuvo activo. El patrón que presenten las raíces fósiles, junto a otras características del suelo, conducen a reconstrucciones de la paleoflora. Por ejemplo, largas marcas de raíces fósiles son indicadoras de selvas y bosques, mientras que raíces fósiles de escaso calibre (1-2 mm de diámetro) se vinculan a pastizales. Así se sabe que entre 62 y 45 millones de años atrás, en la Patagonia central existían ambientes boscosos, que fueron reemplazados con plantas más bajas (pastos) que integraban amplios pastizales y sabanas muchos millones de años después.

Finalmente, a todos estos controles que hicieron que un paleosuelo desarro-

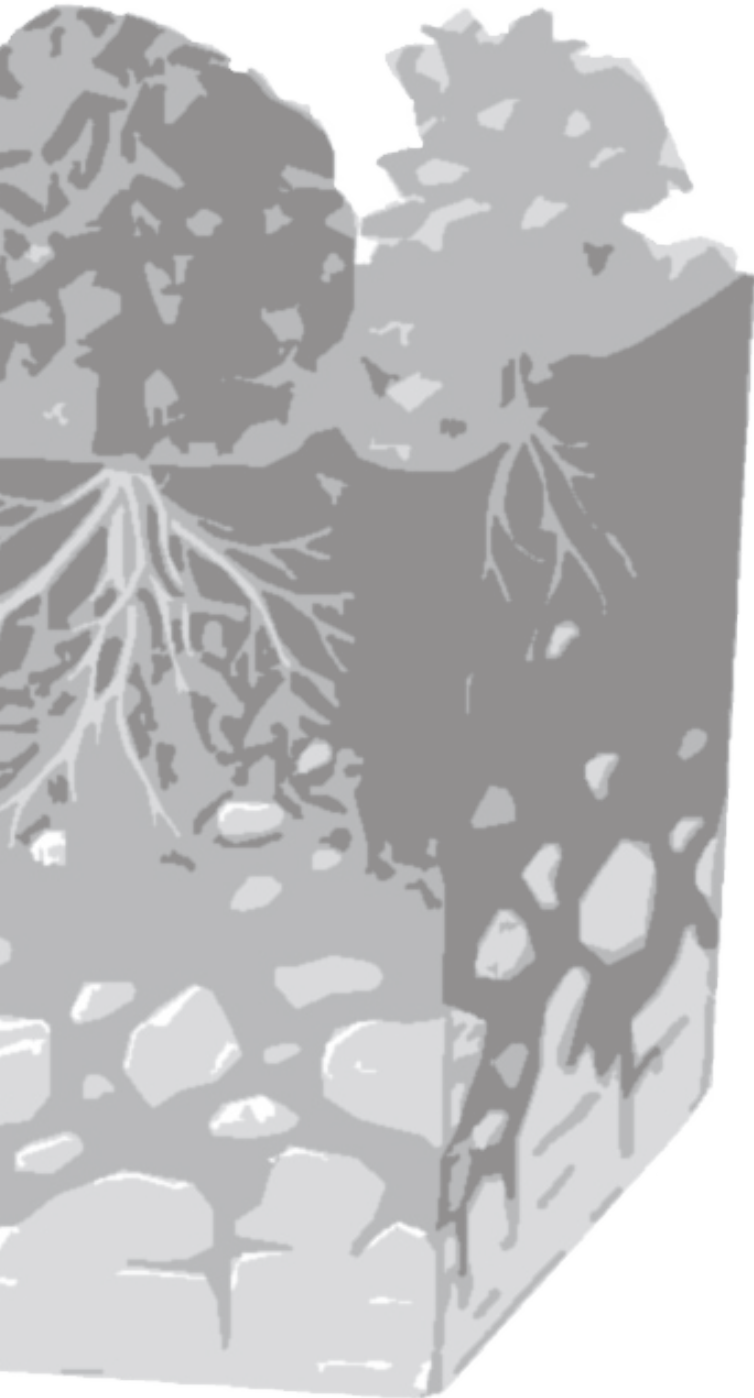
lle determinados pedregos y atributos composicionales, hay que sumar el factor tiempo. Éste puede variar desde períodos muy cortos (días, años) hasta muy largos (millones de años, tiempo geológico). El tiempo de desarrollo de un suelo, o tiempo de pedogénesis, es el lapso durante el cual los procesos de formación de un suelo se encuentran activos. Una vez que el suelo comienza a sepultarse por nuevo material sedimentario o es removido por erosión, el suelo deja de funcionar, se desactiva. El tiempo de formación de cada pedregos varía considerablemente. Así, en función de los atributos que logre adquirir un paleosuelo, se podrá inferir el grado de desarrollo del mismo, y a partir de ello, estimar el rango temporal en el cual esos atributos se formaron. Por ejemplo, existen paleosuelos del Paleoceno (60 millones de años atrás) de Chubut que sólo preservan marcas de raíces como principal pedregos (Fig. 10), indicando que su formación se produjo de manera rápida (lapsos temporales de formación breves: 100 años). En cambio, otros suelos fósiles de edad similar muestran mayor desarrollo pedogenético, reflejado éste en el desarrollo de estructuras de suelo y horizontes diferenciados, conjuntamente con importantes cambios mineralógicos respecto a su material parental. Este tipo de pedregos y atributos composicionales demanda un período temporal más extenso de pedogénesis (1.000-10.000 años) (Fig. 10).

Desafíos que plantean los paleosuelos

Como se ha tratado de demostrar, los suelos del registro fósil, poco conocidos por el público en general, son magníficos representantes de las condiciones ambientales de la Tierra en el pasado. Muchos de los ejemplos ilustrativos de cómo llegamos a estas interpretaciones provienen del Cenozoico (lapso que abarca los últimos 66 millones de años). Para estos tiempos las condiciones ambientales terrestres eran relativamente

similares a las actuales, pudiendo de manera fácil hacer el correlato entre suelos antiguos y actuales. Sin embargo, los paleosuelos más antiguos del registro geológico, cuando la Tierra no tenía condiciones similares a las del presente representan un gran desafío científico. Así, resulta difícil imaginar cómo habrían operado los procesos formadores de suelo bajo atmósferas reducidas, pobres en oxígeno, o qué papel habrían jugado los organismos cuando no existían las plantas vasculares como las actuales o cuando los microbios eran las únicas formas de vida sobre nuestro entonces primitivo planeta.

Abordar el estudio de suelos tan antiguos como la misma historia de la Tierra brindará nuevos datos y contribuirá a la reconstrucción ambiental más primordial de nuestro planeta. Luego, quedará por enlazar los eslabones que reflejan la evolución de las interacciones de clima, material parental, relieve, organismos y tiempo sobre la superficie de la Tierra a lo largo de su historia. Y, por qué no, pensar en ir un poco más allá de nuestro planeta y plantearnos el interrogante: en otros planetas donde operan factores superficiales extraterrestres ¿existirán paleosuelos que permitan reconstruir sus condiciones pasadas?◆



Dra. María Sol Raigemborn
Centro de Investigaciones Geológicas
CONICET
Cátedra de Micromorfología de Suelos
FCNyM - UNLP