

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Presentado: 04/08/2020
Aceptado: 31/10/2020
Publicado online: 30/11/2020
Editor: Cesar Aguilar

Autores

Deborah Woodcock *¹
dwoodcock@clarku.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5914-5958>

Herbert W. Meyer ²
herb_meyer@nps.gov
<https://orcid.org/0000-0002-4890-7491>

Ysabel Prado ³
ipradov@unmsm.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-4751-7464>

Eleazar Rufasto ⁴
erufasto@unprg.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-9214-1852>

Dennis O. Terry ⁵
doterry@temple.edu
<https://orcid.org/0000-0003-3667-3752>

Correspondencia

*Corresponding author

1 Clark University, George Perkins Marsh Institute. USA.

2 U.S. National Park Service, Florissant Fossil Beds National Monument. USA.

3 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Museo de Historia Natural. Perú.

4 Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Departamento académico de Suelos. Perú.

5 Temple University, Department of Earth and Environmental Science. USA.

Citación

Woodcock D, Meyer HW, Prado Y, Rufasto E, Terry DO. 2020. El bosque petrificado Piedra Chamana: un recurso científico de importancia global. Revista peruana de biología 27(4): 517- 528 (Noviembre 2020). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i4.18413>

El bosque petrificado Piedra Chamana: un recurso científico de importancia global

The Piedra Chamana Fossil Forest: A scientific resource of global importance

Resumen

El Bosque Petrificado Piedra Chamana, cerca del pueblo de Sexi en Cajamarca, registra la vegetación de los trópicos de Sudamérica de hace 39 millones de años, la que existió en los inicios de la historia de los bosques tropicales del Nuevo Mundo y antes del levantamiento de los Andes. En este bosque, descubrimientos notables incluyen el manglar del género *Avicennia*, un género de árboles forestales emergentes (*Cynometra*), y el segundo dipterocarp conocido del Nuevo Mundo. La importancia de los fósiles se basa en sus circunstancias únicas de preservación, es así como fósiles de plantas y suelos antiguos permiten la reconstrucción detallada del bosque y el medio ambiente en que existieron, contribuyendo con el conocimiento del cambio climático. Los sitios como este bosque fósil son muy vulnerables al disturbio y pérdida de los recursos fósiles. El monitoreo muestra que las actividades humanas y la erosión están teniendo efectos serios y que son necesarias medidas urgentes para su conservación. La importancia de los fósiles para la ciencia, la belleza de esta área de los Andes, y el potencial para la educación y turismo justifican el reconocimiento del Bosque Petrificado Piedra Chamana a nivel internacional. El bosque tropical representado por los fósiles es muy diferente del bosque diverso esclerófilo de hoja ancha que se encuentra actualmente en el sitio. La pérdida del suelo y la erosión del sustrato suave y poroso por alteración de la cubierta vegetal son una amenaza para la biota nativa y los fósiles. Por lo tanto, las medidas de conservación necesarias para proteger los fósiles tendrían múltiples beneficios para la ecología del área.

Abstract

The Piedra Chamana Fossil Forest, near the village of Sexi in central Cajamarca, records the vegetation of the South American tropics 39 million years ago, early in the New World tropical forests history and before the rise of the present-day Andes. In this fossil forest, notable discoveries have included the mangrove genus *Avicennia*, a genus of emergent forest trees (*Cynometra*), and the second dipterocarp known from the New World. The significance of the fossils rests on the unique circumstances of preservation, the detailed reconstruction of the forest and environment that is possible based on the plant fossils and ancient soils, and the importance of this record for the study of climate change. Sites like the fossil forest are particularly vulnerable to disturbance and loss of the fossil resources. Ongoing monitoring shows that human activities and erosion are having serious effects and, conservation measures are urgently needed. The importance of the fossils for science, the beauty of this area of the Andes, and the potential of the site for education and tourism justify recognition of the fossil forest at an international level. The lowland tropical forest represented by the fossils is very different from the diverse broad-leaf sclerophyllous forest or woodland now growing in the area. Soil loss and erosion of the soft, porous volcanic substrate when the vegetation cover is disturbed poses a threat to both the native biota and the fossils. The conservation measures needed at the fossil site would have multiple benefits for the ecology of the region.

Palabras claves:

Maderas fósiles; hojas fósiles; paleosuelos; clima Eoceno; vegetación Eoceno; historia forestal; Sudamérica; Cajamarca; Sexi Perú.

Keywords:

Fossil woods; fossil leaves; paleosols; Eocene climate; Eocene vegetation; forest history; South America; Cajamarca; Sexi Peru.

Introducción

Hace 39 millones de años, un volcán en el norte del Perú erupcionó explosivamente, enviando cenizas y material piroclástico sobre un área extensa, enterrando un antiguo bosque que estaba creciendo al lado de una bahía del mar. La vegetación forestal, protegidas por las rocas, poco a poco fueron petrificadas a medida que el material orgánico fue reemplazado con minerales. Más tarde en el Cenozoico, cuando los Andes se levantaron a su actual altitud, los fósiles fueron elevados juntamente con las rocas que los encerraron. Expuestas al viento y a la lluvia, las rocas fueron erosionadas para revelar los fósiles como un registro de la vegetación y el ambiente de América del Sur de muchos millones de años atrás. Nuestro objetivo en este artículo es presentar algunos de los aspectos más destacados de los resultados de nuestro estudio de los fósiles; abordar el significativo valor científico de los fósiles y las cosas que hacen del bosque petrificado de Sexi un recurso científico único; discutir las necesidades conservacionistas en relación a recursos paleontológicos en general; proveer un resumen de otras investigaciones sobre la ecología del área; y discutir los prospectos para el futuro en el contexto del ambiente local y la comunidad de Sexi, lugar del sitio fósil.

Los fósiles se encuentran cerca del pueblo de Sexi en la provincia de Sta. Cruz (Departamento de Cajamarca). Ellos se hicieron conocidos a la ciencia en 1994 cuando Luis Valverde, un estudiante universitario de Lima quien hacía un estudio del desarrollo económico en Sexi, trajo unos especímenes al Museo de Historia Natural en Lima, donde fueron identificados como plantas fósiles por el Ing. Guillermo Morales y Blga. Ysabel Prado, personal del museo quien poco después viajó al sitio fósil. Allí conversaron con los pobladores de la comunidad sobre la importancia de los fósiles y la necesidad de proteger el sitio y los fósiles. Los especímenes que ellos colectaron formaron la base de las colecciones de Sexi, numerando más de 400 especímenes de maderas y hojas fósiles que son parte de las colecciones permanentes del Departamento de Invertebrados y Paleobotánica en el museo. El Ing. Morales también extendió una invitación para visitar el sitio a una investigadora norteamericana quien estaba en el Perú con una beca Fulbright, lo que fue el comienzo de más de 20 años de colaboración científica.

Al principio de la investigación se tenía muy poca información sobre la edad de los fósiles, cómo fueron fosilizados, o los tipos de plantas presentes. Pero con el trabajo de un equipo internacional de científicos de los EE. UU y el Perú, becas de investigación, y el apoyo de muchos en el Perú, fue posible determinar la edad de los fósiles por datación Argon-Argon y el tipo de procesos volcánicos responsables de la preservación de las plantas fósiles (Woodcock et al. 2009). También fue posible comenzar el trabajo de mostrar la alta diversidad de maderas fosilizadas presentes, preparar el material para observación microscópica, y hacer las detalladas descripciones necesarias para describir e identificar las maderas. Descripciones de 31 especies de maderas fósiles

ahora están publicadas en la revista de la Asociación Internacional de Anatomistas de Madera (Woodcock et al. 2017, 2019), la organización que establece las normas para la descripción e identificación de maderas actuales y fósiles. En muchos casos las maderas son muy similares a géneros existentes en la flora de Sudamérica y las hemos nombrado a especies nuevas dentro de estos géneros. Detalles del nombramiento son discutidos en Woodcock et al. (2017).

Descubrimientos notables

Los fósiles de *Avicennia*.

Entre los fósiles más abundantes en el sitio hay especímenes de diámetro de 3-9 cm con una distintiva apariencia bandada. El estudio de las láminas delgadas de la madera en los tres planos requeridos para una detallada observación microscópica reveló que la madera tiene las características de *Avicennia*, un género de manglar que se encuentra hoy día en la costa norte de Perú y otras áreas costeras de los trópicos. Esta identificación se basa en más de 35 características anatómicas distintas. Entre las más importantes son las bandas de parénquima que incluyen áreas de floema (Fig. 1A, B; Woodcock et al. 2017). Esto está considerado un tipo de crecimiento anómalo porque normalmente el floema - que mueve solutos dentro del árbol - está ubicado en la periferia del árbol justo debajo de la corteza. Otro rasgo no usual es la presencia de grandes cristales cúbicos que parecen representar pseudomorfo de halita, aunque no es sorprendente encontrarlos en una planta que crece en condiciones salinas y extruye sal de las hojas (Tomlinson 1994). La identificación está apoyada por la presencia de hojas fosilizadas identificadas como *Avicennia* por las características de la venación (Fig. 1C, Woodcock et al. 2017). La madera fósil ha sido nombrada en honor del pueblo de Sexi (*Avicennia sexiensis*).

La presencia de manglares sugiere que el bosque estaba ubicado al lado de una bahía del mar (la Bahía Pozo) presente en la parte occidental de lo que ahora es la cuenca Amazónica durante este periodo del Cenozoico (Fig. 1E; Louterbach et al. 2014).

Cynometra, un género de árboles emergentes.

Uno de los especímenes más impresionantes en el sitio fósil es un tronco grande con un diámetro de 75 centímetros y una longitud de 10 m que evidentemente representa un árbol forestal muy grande (Fig. 2A). La madera de este árbol está caracterizada por vasos que son anchos y presentes en baja densidad y también bandas de parénquima que se encuentran ambas asociadas con y aparte de los vasos (Fig. 2B) y también a los márgenes de los anillos de crecimiento. Un total de más de 30 características, incluso el tamaño pequeño de las punteaduras entre los vasos (Fig. 2C), sugiere una relación muy de cerca con *Cynometra* en la familia Fabaceae (subfamilia Detarieae). Los especímenes han sido nombrados a una nueva especie dentro de *Cynometra*, que incluye especies de grandes árboles emergentes en los bosques tropicales de Sudamérica.

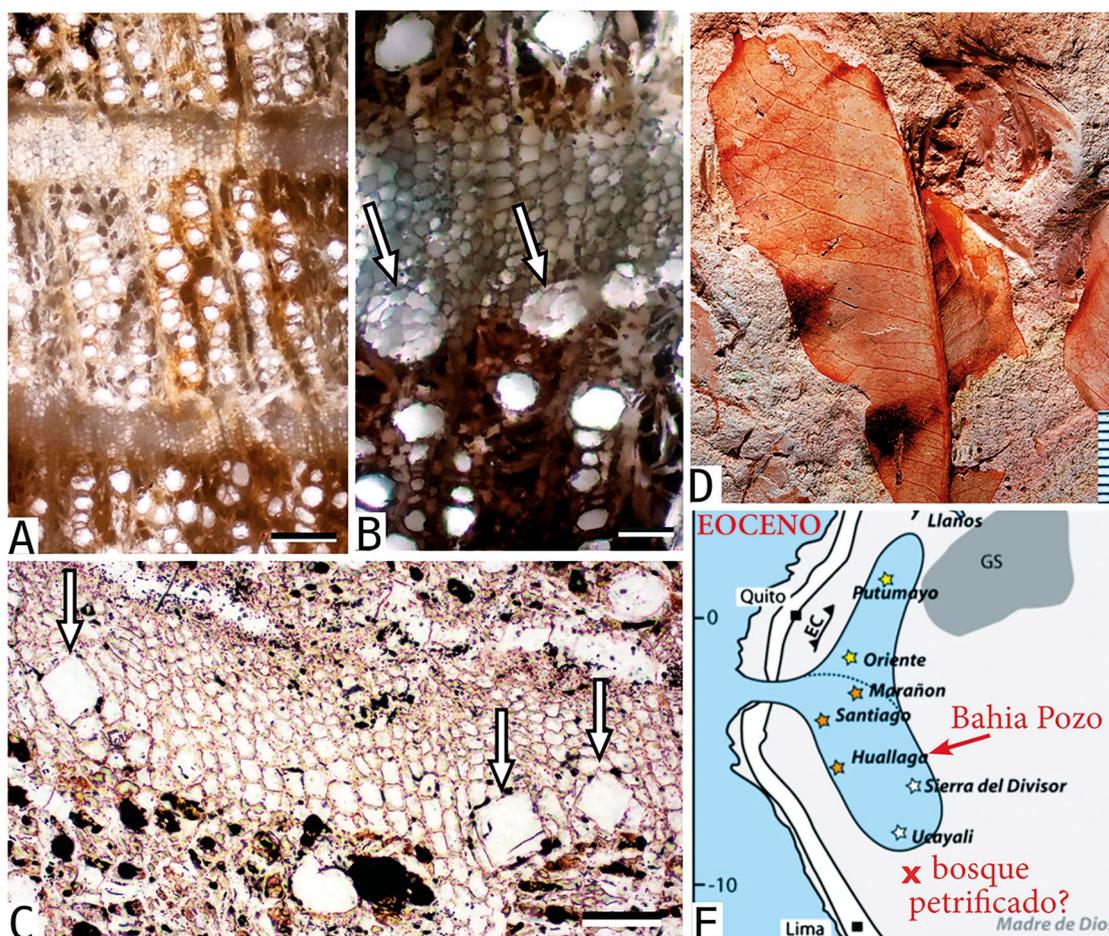


Figura 1. (A-C) *Avicennia sexiensis* Woodcock, Meyer et Prado: (A) Sección transversal con los vasos y bandas de parénquima, escala = 250 µm, (B) Banda de parénquima con floema incluida (flechas), escala = 75 µm, (C) Probable pseudomorfos de halite (flechas), escala = 100 µm. (D) Hoja fosilizada identificada como *Avicennia*. Escala en milímetros. (E) Mapa de la Bahía de Pozo con la ubicación posible del bosque petrificado (desde Louterbach et al. 2014).

La presencia de árboles emergentes, de árboles altos pero no muy anchos (los largos troncos vistos en el sitio) que son típicos de árboles forestales, de lianas (el espécimen similar a *Thiloa*, en la familia Combretaceae), de taxones típicos del substrato forestal (*Tabernaemontana*), y de una diversidad de especies y morfotipos de monocotiledóneas (en mayor parte palmas) - todo indica que la paleovegetación era un bosque tropical multiestrato con una estructura compleja muy similar a los bosques tropicales de hoy día.

La sorprendente ocurrencia de un dipterocarp

La madera en Fig. 2D-F tiene vasos que son estrechos y presentes en alta densidad. Muestra un total de 35 rasgos anatómicos, incluso vasos con largas colas y rayos del ancho de una célula que contienen pequeños cuerpos de sílice (Fig. 2E, F). Las características anatómicas indican una relación con la subfamilia Monotoideae de Dipterocarpaceae. Es una sorpresa encontrar esta madera porque la familia Dipterocarpaceae, aunque muy diversa en los bosques de Asia tropical, está representada en Sudamérica por solo una especie encontrada en la Amazonia Colombiana (*Pseudomonotes tropenbosii*

Morton, 1995). La madera es similar a la de *Pseudomonotes* pero no es idéntica. Es claro, además, que es una parte de la historia de esta importante familia. Parece muy probable que la historia de los dipterocarps se extiende hacia el continente antiguo de Gondwana y más tarde África y Sudamérica, donde se encuentra el grupo basal de Monotoideae, y que ellos viajaron al norte con el subcontinente de India en su viaje al hemisferio norte y después se diversificaron en los bosques tropicales de Asia, donde son los más altos árboles y el más diverso grupo forestal. El ejemplo de este fósil - representado por un espécimen - muestra que cada fósil tiene su propia historia y que incluso la pérdida de un espécimen puede ser una pérdida enorme para la ciencia y nuestro conocimiento de la historia de la vida en la tierra.

La diversidad de Malvales

El grupo más diverso en la agrupación fósil es la familia Malvaceae. Tenemos representantes de Bombacoideae, Bombacoideae/Malvoideae, Grewioideae, Byttnerioideae, y Sterculioideae (anteriormente consideradas familias separadas). Unos ejemplos se muestran en Fig. 3A-D. Estas maderas generalmente son

caracterizadas por parénquima axial que esta dispersada dentro de la madera y no agrupada alrededor de los vasos como en *Cynometra* (Fig. 2B). Nuestros ejemplos incluyen géneros muy bien conocidos en la flora de Sud América como *Ceiba* (2 especies, Bombacoideae), *Ochroma* (Bombacoideae/Malvoideae), *Guazuma* (Bytterneroideae), y *Sterculia* (Sterculioideae). Taxones en Malvaceae están bien representados hoy en la vegetación várzea asociada con los sistemas fluviales de aguas blancas en la Amazonía oeste. Condiciones inundadas estacionalmente también son indicadas por la presencia de géneros exclusivos a bosques inundados (*Prioria*, *Vasivaea*) o que son dominantes o tienen su mayor ocurrencia en bosques de este tipo (*Ceiba*, *Cynometra*, *Hura*, *Ochroma*, *Thiloa*). Además, el análisis de los suelos antiguos asociados con los fósiles (Fig. 3E) revela áreas donde los suelos son moteados, lo que es consistente con condiciones húmedas.

El significado científico de los fósiles

Muchos factores y las circunstancias de preservación hacen de los fósiles entidades de especial importancia para la ciencia. Podemos enumerar las siguientes:

Las circunstancias únicas de preservación

Las plantas fósiles están muchas veces preservadas en rocas sedimentarias — hojas fósiles en sedimentos depositados en lagos u otros cuerpos acuáticos y maderas fósiles cuando son llevados por la corriente de agua y entonces enterrados. El polen de plantas y los huesos de vertebrados también se encuentran principalmente en contextos sedimentarios donde se acumularon por medio de procesos fluviales. La diferencia de la situación en Sexi es que los fósiles del bosque petrificado están preservados por acción volcánica que enterró un ecosistema forestal completo en pleno crecimiento. En ese respecto, es similar a Pompeya - y el bosque petrificado ha sido llamado el Pompeya del Perú (Villager 2009) - donde las comunidades romanas de Pompeya y Herculano fueron enterradas por la erupción del Vesuvius en 79 AD. Otros ejemplos de estos tipos especiales de depósitos fósiles son el bosque petrificado en Yellowstone Parque Nacional en los EE. UU. (con una edad de 55 millones de años) o los fósiles de Ashfall Fossil Beds en el estado de Nebraska, donde una gran agrupación de mamíferos al lado de un abrevadero fue enterrada por una erupción volcánica hace 12 millones de años.

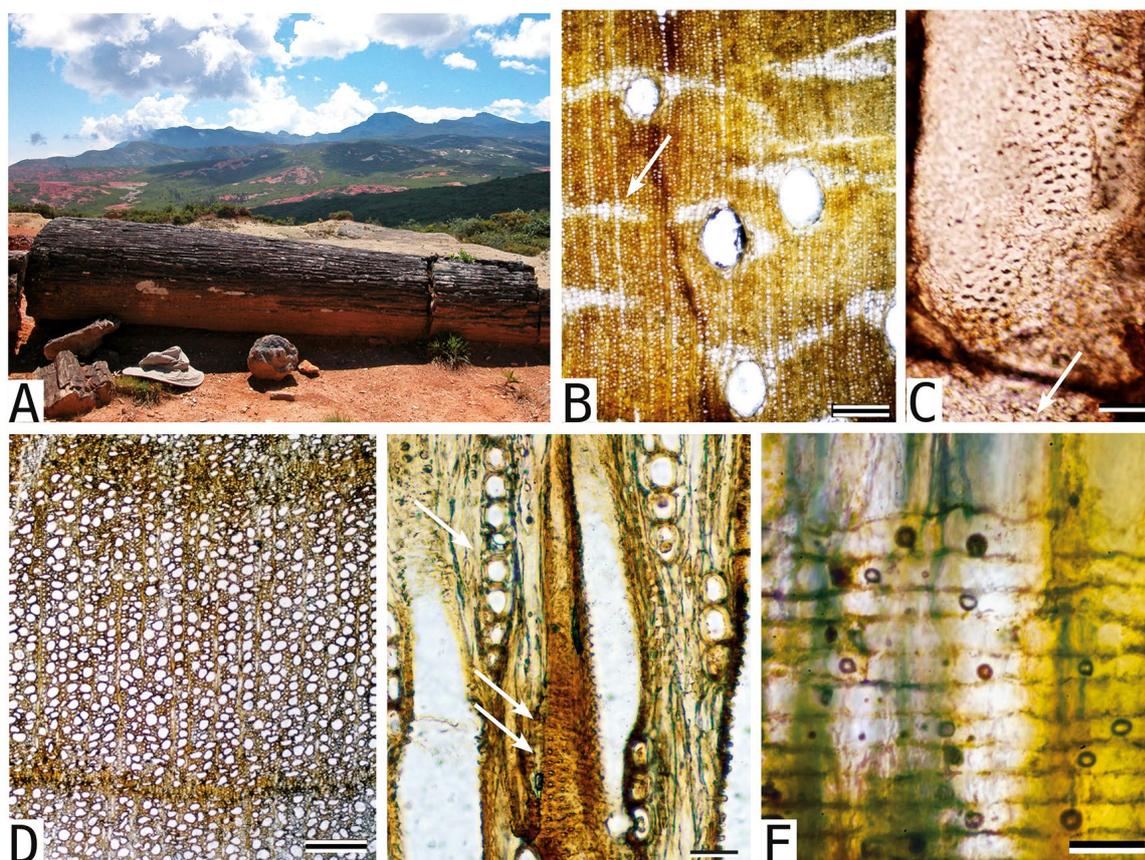


Figura 2. (A-C) *Cynometra grandis* Woodcock, Meyer et Prado: (A) Grande tronco fósil, (B) Sección transversal que muestra parénquima (flecha) asociada con los poros (paratracheal-aliform) y en bandas aparte de los poros, escala = 250 μ m, (C) Pequeñas punteadoras intervasculares. Sección tangencial, escala = 25 μ m. (D-F) cf. *Pseudomonotes*: (D) Sección transversal que muestra poros que son estrechos y en alta densidad, escala = 250 μ m, (E) Rayos uniseriats (flecha) y vaso con larga cola (doble flecha), sección tangencial, escala = 20 μ m, (F) Rayos de células procumbentes con pequeños cuerpos de sílice, sección longitudinal, escala = 40 μ m

Pero en el caso del volcanismo explosivo, ciertas condiciones tenían que estar presentes para la preservación de restos orgánicos porque los productos volcánicos generalmente son de alta temperatura y no permite al material orgánico sobrevivir. Así podemos deducir que, el bosque tenía que estar suficientemente cerca del volcán para que las cenizas y otros tipos de piroclásticos pudieran llegar a él y ser depositados, y lo suficientemente lejos para que este material se hubiera enfriado al punto que la materia orgánica pudiera persistir.

El mundo antiguo que podemos reconstruir a partir de los fósiles

Cuando las maderas fósiles están bien preservadas como es el caso en Sexi es posible ver muchos o todos los rasgos anatómicos que estuvieron presentes cuando el árbol estaba vivo. Estas características anatómicas son una rica fuente de información de varios tipos. Por ejemplo, el estudio cuidadoso de los fósiles revela la presencia

de maderas con la anatomía típica de lianas, de árboles altos, y de pequeños árboles o arbustos del sustrato forestal. Esto indica que algunos de los árboles eran caducifolios y que el bosque era en parte caducifolio. También nos permite caracterizar la paleovegetación como bosque inundado estacionalmente creciendo junto a vegetación que probablemente fue adaptada a condiciones más secas. Adicionalmente, permite la identificación de los taxones y grupos en la flora actual que están más cercanamente relacionados a los fósiles. En algunos casos, los fósiles de Sexi son el primer registro de ciertos grupos de especies de plantas en el registro fósil y por eso son de interés a biólogos que estudian la historia evolutiva de grupos particulares.

Si fuera posible visitar el bosque del Eoceno, el paisaje habría parecido familiar en parte, con tipos de árboles que son bien conocidos en los trópicos de América del Sur (*Ceiba*, *Hura*, *Ochroma*, *Anacardium*, *Sterculia*).

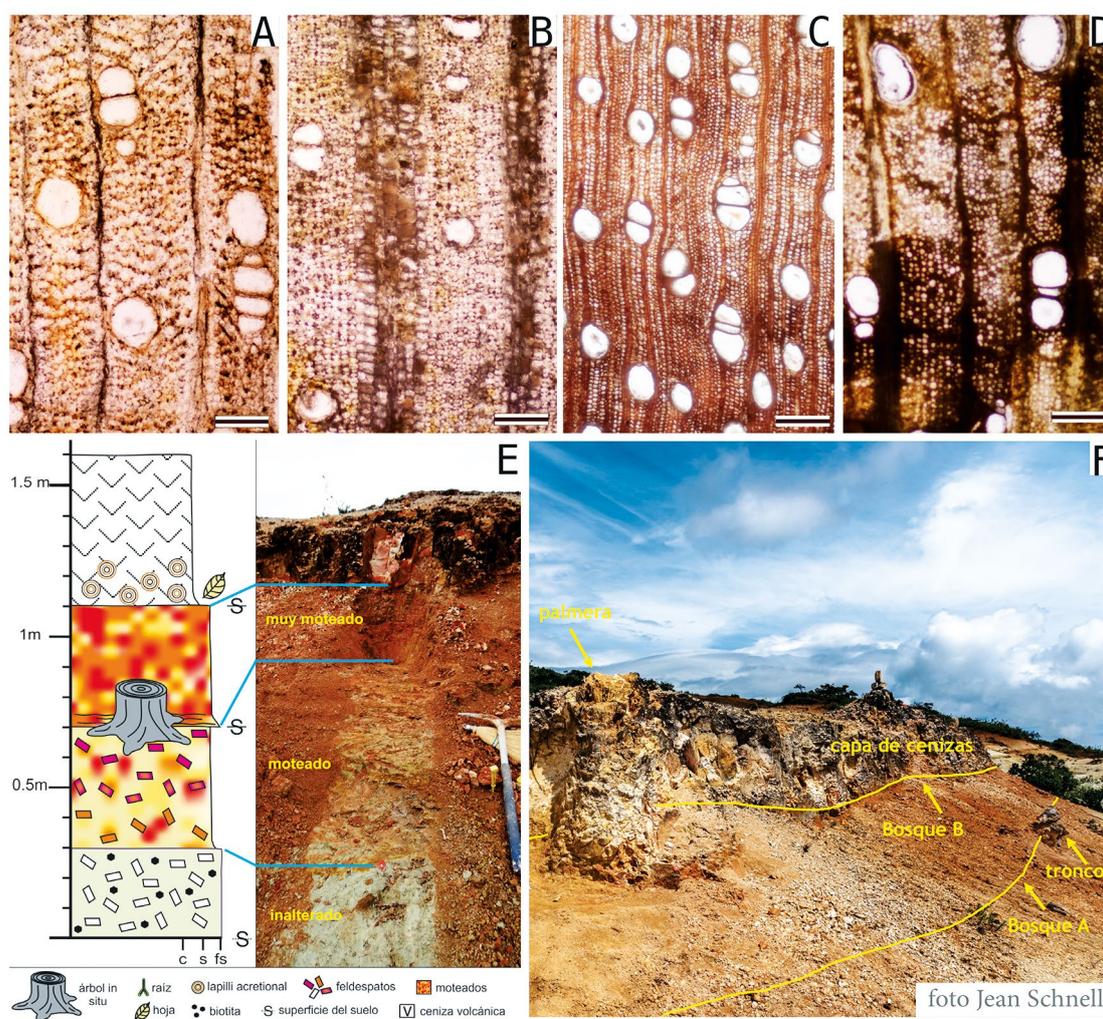


Figura 3. (A-D) Secciones transversales de taxones Malvaceae (escala = 250 μ m): (A) *Ceiba archeopentandra* Woodcock, Meyer et Prado, (B) *Ochroma pozoensis* Woodcock, Meyer et Prado, (C) *Luehea stratificata* Woodcock, Meyer et Prado, (D) *Sterculia matrum* Woodcock, Meyer et Prado. (E, F) Paleosuelos asociados con los fósiles: (E) Sección estratigráfica que muestra dos paleosuelos y la sobyacente capa de ceniza con fósiles asociados, (F) Los diferentes horizontes en E como se expresados en el sitio.

La presencia de géneros modernos, un resultado que no era necesariamente esperado, muestra que bosques similares a los de hoy día estaban presentes 39 millones de años atrás y persistieron a lo largo del tiempo geológico a pesar de muchos tipos de cambios, incluyendo periodos de altas temperaturas. También sugiere que la vegetación y ambientes asociados con los sistemas fluviales de los proto-Andes en la parte occidental del continente han sido muy importantes en la historia biótica del Nuevo Mundo.

En el sitio de estudio es posible observar troncos verticales, en su posición original de crecimiento y enraizados en un suelo antiguo (Fig. 3E). Estos paleosuelos también son una fuente de información sobre las condiciones pasadas. Los suelos son zonas de actividad física, química, y biológica en la superficie de la tierra cuya formación está gobernada por el clima, el relieve, el material parental y el tiempo (Jenny 1941). La interacción de estos factores produce una distribución vertical de características físicas y químicas (el perfil del suelo) que es definida por zonas distintas de acumulación o agotamiento (los horizontes). Cuando un suelo está enterrado y eventualmente litifica, sus rasgos se conservan como un registro de las condiciones del paisaje. En el sitio fósil se excavaron calicatas a través de los perfiles del paleosuelo para documentar las raíces fósiles, las estructuras del suelo, los colores y moteados, el contenido mineral y se colectaron muestras para su análisis mineralógico, geoquímico y microscópico. El moteado que es evidente en los paleosuelos refleja el anegamiento y varía a través del paleopaisaje debido a variación en el relieve y la posición. Aunque este estudio de suelos es limitado en alcance, las características observadas de los paleosuelos son consistentes con la interpretación de la presencia de bosques inundados y bosques secos.

Hay mucho más que quisiéramos saber sobre la vegetación y ambiente de este antiguo ecosistema. Por ejemplo, quisiéramos tener un conocimiento mayor del bosque seco representado en la agrupación. Sabemos que es común que depósitos volcánicos como los de Sexi existan en secuencias o “paquetes” reflejando erupciones periódicas sobre el tiempo. Podemos ver que esto es verdad en Sexi desde la ocurrencia de por lo menos dos horizontes de paleosuelos en secuencia (Fig. 3F). También es claro desde nuestro trabajo de campo y el trabajo hecho en colaboración con geólogos de INGEMMET (Navarro et al. 2012) que hay áreas fosilíferas adicionales en el distrito de Sexi. Interpretaciones preliminares indican que una combinación de ambientes ribereños y lacustres están representadas y que la vegetación y los paleosuelos se formaban en áreas que eran bajas y no muy bien drenadas y también en otras más altas y bien drenadas. Con más investigación, será posible expandir este registro y obtener un entendimiento más completo del bosque tropical antiguo y la historia y desarrollo de estos megadiversos ecosistemas.

La importancia de los fósiles en el estudio del cambio climático

El registro geológico es una fuente de información importante sobre el sistema climático y su variabilidad en el tiempo. Nuestro conocimiento de las condiciones climáti-

cas del pasado está basado en su mayor parte en registros marinos - los registros de isótopos u organismos marinos obtenidos de núcleos oceánicos, por ejemplo, que dan información sobre cambios en el tiempo. Los registros continentales como las plantas fósiles de Sexi en comparación con los primeros están casi siempre muy localizados en el tiempo y el espacio. No obstante, son una importante - y en algunos casos la única - fuente de información sobre las condiciones en los continentes. Los fósiles, con una edad de 39 millones de años, data de un tiempo cuando las temperaturas en el mundo eran altas en comparación a hoy en día (Baatsen et al. 2018) y son uno de los muy pocos registros de este tiempo de los trópicos, de allí el gran valor e interés para la comunidad científica.

El sitio fósil puede ser considerado una ubicación “multi-proxy” porque incluye un rango de indicadores que pueden ser analizados independientemente — los rasgos anatómicos de las maderas fósiles, los taxones de árboles representados, los aspectos morfológicos de las hojas fósiles, y las características de los suelos antiguos. No es usual tener todos estos tipos diferentes de indicadores juntos y nos permite chequear por consistencia y tener más confianza en nuestras interpretaciones. Y porque el bosque estaba muy cerca del nivel del mar, la altitud no es un factor complicado para interpretaciones como es muchas veces el caso. Nuestro análisis de los fósiles (Woodcock y Meyer 2020) indica niveles de precipitación moderada (>1000 – 1200 mm por año) y temperaturas más altas que en el presente (temperatura media anual de ~31 °C) en las áreas bajas del continente. Algunos aspectos de la anatomía de las maderas no usuales también son datos consistentes de niveles de estrés hídrico más altos que hoy en día (como sería el caso con temperaturas altas).

Conservación y protección del bosque fósil

Amenazas a los fósiles y al sitio fósil

Sitios alrededor del mundo como el bosque petrificado comparten necesidades y preocupaciones comunes relacionadas con la preservación y protección. Estos otros sitios demuestran el grado de pérdida que puede ocurrir en el tiempo, debido al robo de fósiles con la presencia cada día de más visitantes. Al respecto, el sitio en Sexi ha sido inusual debido a su descubrimiento relativamente reciente y al aislamiento geográfico, factores que se han combinado para limitar el número de visitantes. Esta condición es muy precaria, ya que al volverse el sitio más conocido y que el acceso para vehículos mejore habrá un mayor potencial para más visitas y pérdida de fósiles. Incluso el robo a pequeña escala de souvenirs puede resultar en un monto acumulado de pérdida enorme en el tiempo. Los especímenes más grandes son vulnerables a robo por comerciantes y cazadores furtivos de fósiles (ilegal en Perú) anticipándose al valor comercial. Todas las formas de robo amenazan destruir el valor del sitio para la ciencia y la educación. La pérdida puede ser prevenida solo mejorando y haciendo cumplir las medidas estrictas para proteger los fósiles.

El aumento de la erosión es otra amenaza a los árboles petrificados. El monitoreo realizado desde el año 2005 documenta la desaparición y degradación de los árboles fósiles por ambos motivos, robo y erosión. Nuestro estudio, realizado usando prácticas establecidas, indica que la condición relativamente intacta del Bosque Petrificado Piedra Chamana está en punto de disminución. Por lo tanto, es imperativo tomar medidas para evitar la pérdida de estos recursos fósiles no-renovados que son de único valor global.

Monitoreo del sitio fósil y recomendaciones

Importante para el manejo de sitios paleontológicos como el bosque petrificado y la determinación de las necesidades para su protección es el monitoreo de los cambios debido a actividades naturales y humanas. Este proceso de "inventario y monitoreo" requiere un inventario inicial para mapear el perímetro de las áreas con una concentración de fósiles y documentar las condiciones de línea base en foto-puntos definidos. El monitoreo periódico debe involucrar fotografías repetidas desde las posiciones mismas para evaluar los cambios en relación con el tiempo. Las causas de los cambios pueden ser evaluados con referencia a factores naturales como los procesos geológicos y climáticos, los factores biológi-

cos como los efectos de animales, y los factores humanos como el disturbio o la recolección ilegal. Los cambios en la condición de un sitio son evaluados en términos de disturbio, fragilidad, abundancia de fósiles, la pérdida de los fósiles, y la facilidad de acceso al sitio.

El apoyo del Servicio de Parques de los EE. UU. y Florissant Fossil Beds Monumento Nacional y su organización sin fines de lucro, Los Amigos de Florissant Fossil Beds, ha hecho posible la participación del paleobotánico Herb Meyer y el trabajo del monitoreo e inventario. El bosque petrificado fue inicialmente inventariado y documentado con fotos en mayo de 2005 (Meyer et al. 2006). Los perímetros de 14 sitios fueron mapeados y 96 foto-puntos establecidos para documentar las condiciones de la línea base. En mayo de 2018, documentamos los cambios en la mayoría de estas foto-puntos para evaluar la naturaleza y el grado de cambios durante este periodo de 13 años (Fig. 4, Meyer y Allen 2018).

En estas evaluaciones se encontraron que las ubicaciones sin cambios eran una minoría y que la mayoría de los foto-puntos tenían cambios, ya sea en grados menores o significativos (Fig. 4B). Tenemos evidencia de cambios atribuibles a erosión o impacto humano, o una combinación de ambos.

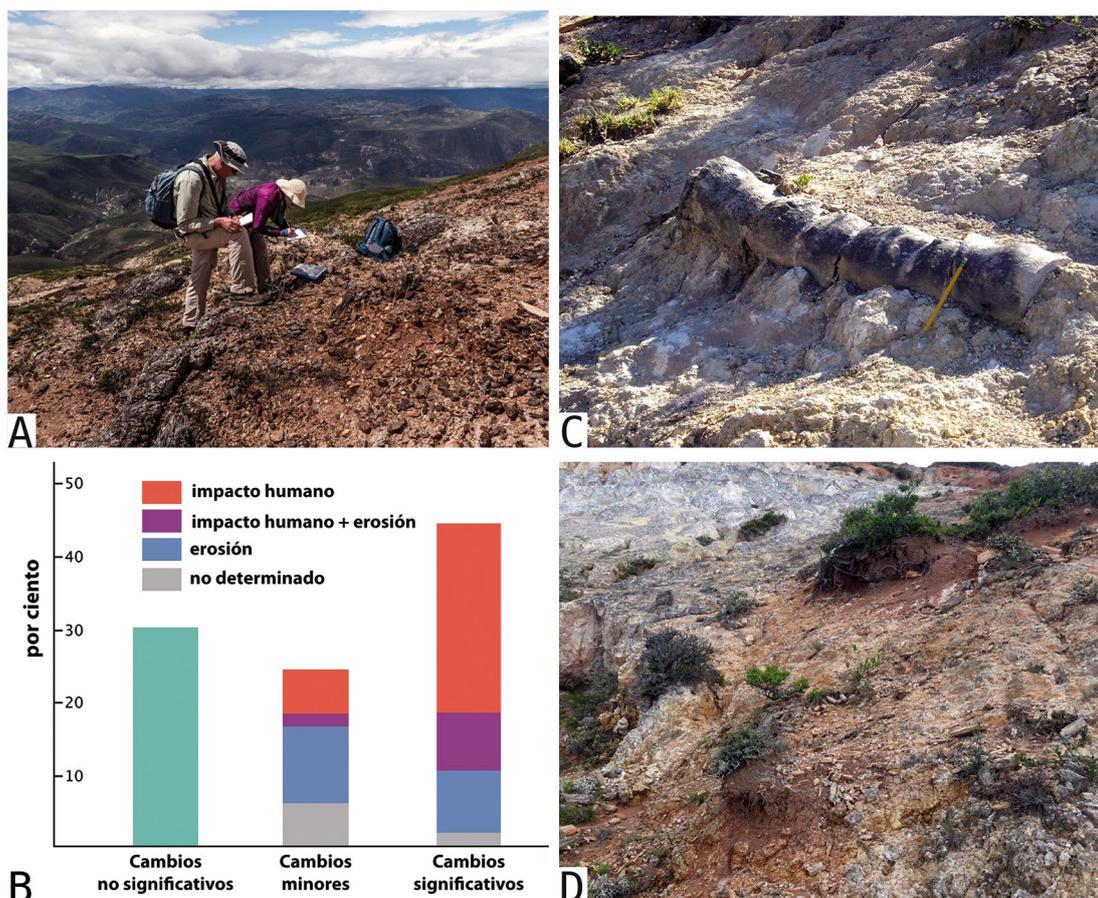


Figura 4. Monitoreo y inventario del sitio fósil: (A) Herb Meyer y Sarah Allen obteniendo datos para el monitoreo, (B) Los cambios documentados en los foto-puntos monitoreados, (C,D) La pérdida de un espécimen de palmera sobre el periodo de análisis.

Los resultados de mayo 2018 demuestran que la condición del bosque petrificado se está deteriorando en una tasa significativamente alta. La erosión natural de la superficie es evidente, especialmente en las quebradas y las laderas. Es probable que esta erosión haya sido acrecentada por las lluvias fuertes de los años recientes combinada con la poca cobertura vegetal que predomina en la zona, para que las piezas de los troncos petrificados en algunos casos se rompan y en otros casos por acción de la erosión hídrica sean arrastrados hasta caer varios metros fuera del lugar causando su deterioro. Los impactos humanos son más evidentes que en 2005. Algunas evidencias de robo probable están documentadas, incluyendo la desaparición de un tronco vertical in situ y al menos de un tronco de palmera (Fig. 4C, D). Los sitios cerca de la carretera o con árboles petrificados significativos fueron más susceptibles a impactos humanos, especialmente el más visitado de tronco grande (Fig. 2A). Otros impactos humanos se dan debido a la falta de senderos designados para las visitas, que da como resultado que tanto visitantes casuales, como lugareños caminen al azar por la superficie donde hay concentraciones de fósiles. Otras fuentes de disturbio son relacionadas a las prácticas de cría de animales.

Basada en la evidencia de que la erosión y el robo son las amenazas principales para el sitio fósil, recomendamos lo siguiente: 1) la institución de una regla de no mover los fósiles para no disminuir la belleza e integridad científica del sitio; 2) el cercado del perímetro de la parte principal del sitio para evitar el robo y el ingreso no regulado y controlar el ingreso de ganado; 3) limitaciones sobre el acceso de visitantes dentro del área cercada y el requerimiento del servicio de guías debidamente capacitados que acompañen a los visitantes; 4) la mitigación de la erosión con atención a las diferentes causas que originan este problema, así mismo dando atención a la eventualidad de eventos extremos de lluvia, como es el fenómeno del Niño, que en los últimos tiempos ya es de mayor recurrencia; 5) la estabilización de árboles petrificados frágiles de acuerdo con métodos de conservación establecidos, 6) la instalación de carteles para informar a los visitantes sobre las regulaciones necesarias para minimizar impactos y mantener la integridad del sitio, y 7) la aplicación de reglas para evitar robos.

Oportunidades

El Perú es reconocido por sus culturas antiguas y patrimonio arqueológico, y en tiempos recientes sus ricos recursos paleontológicos han despertado una mayor atención. Descubrimientos recientes incluyen los registros más tempranos de los monos del nuevo mundo (36 millones de años, Bond et al. 2015) y los roedores caviomorfos, el grupo que incluye los cuyes (41 millones de años, Antoine et al. 2012). Ambos grupos probablemente se dispersaron de África y después se diversificaron en Sudamérica en ambientes forestales muy similares al bosque representado por los fósiles en Sexi. Los fósiles de Piedra Chamana son el registro más completo y comprensivo de la comunidad forestal durante este periodo importante en la historia geológica del Perú. El mosaico

de estos sitios fósiles demuestra el único registro fósil de la vida terrestre durante el Eoceno medio y tardío (36 – 42 millones de años atrás) que existe en el Perú. Otro grupo importante de sitios fósiles, ahora nominado a ser un Sitio de Patrimonio Mundial, está en la cuenca de Pisco, donde hay fósiles muy bien preservados de ballenas barbadas, tiburones, perezosos acuáticos y pingüinos que datan de hace 3 – 42 millones de años (Gioncada et al. 2018, UNESCO <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/6418/>).

En todas partes del mundo hay un nuevo énfasis en geopatrimonio, un término que describe lugares que son significativos con respecto a su geología o paleontología y se consideran el patrimonio de la humanidad por su valor científico, educacional, o estético (Rehnard & Briha 2017). El Bosque Petrificado Piedra Chamana es una parte importante del geopatrimonio del Perú debido a los fósiles únicos e inusuales, así como por el valor estético relacionado al inspirador paisaje geológico. Todos los investigadores que han viajado a Sexi como parte de nuestro proyecto de investigación se han quedado impresionados con la gran belleza del área. Desde la cima de la meseta rodeado por troncos fósiles, un visitante tiene una vista del cañón del río Chancay que alcanza una profundidad de 1500 metros y se puede mirar a través de los Andes hacia el valle del Río Marañón y más allá hasta parte del Amazonas. Pocos sitios fósiles en el mundo pueden igualar este hermoso escenario.

El geopatrimonio representado por el bosque petrificado tiene un gran potencial para beneficiar a la población del Perú y los visitantes de alrededor del mundo. Los fósiles y el paisaje desarrollan el conocimiento humano y promueven el entendimiento del pasado geológico del Perú y una apreciación de sus paisajes asombrosos. Estos valores pueden traducirse en beneficios económicos locales y regionales si el sitio es desarrollado como un destino para visitantes, pero esto necesita ser equilibrado por un acercamiento que enfatice la preservación, la protección, y la sostenibilidad. Preservación — a ser realizada por leyes formales y designaciones que minimicen el deterioro, el daño, y la pérdida de recursos. Protección — que involucre el manejo del sitio y la aplicación de las regulaciones. Y Sostenibilidad — que asegure que estos valores continúen para las generaciones que vienen. La oportunidad para realizar estos beneficios existe ahora, pero puede perderse muy pronto, a medida que los árboles petrificados desaparecen.

El bosque petrificado es uno de los sitios incluidos en la ruta turística Señorío de los Huambos propuesta para esta parte de Cajamarca (Osorio y Montenegro 2019). Estos autores describen los muchos atractivos históricos, culturales, y naturales del área y cómo el tipo de turismo rural comunitario que ellos visualizan actuaría en preservar la cultura y los recursos en una parte del país amenazada con subdesarrollo y exclusión económica. Nosotros concordamos con esa visión de los muchos beneficios de turismo de este tipo. Además, consideramos que las características excepcionales del sitio fósil merecen su reconocimiento a nivel internacional como un Geoparque Global

o un Sitio de Patrimonio Mundial, designaciones establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco).

Geoparques Globales son áreas con sitios o paisajes de significado geológico internacional. Promueven la conciencia y el entendimiento de geopatrimonio combinando la conservación, la educación, y el desarrollo económico sostenible promovidos por asociaciones dentro de las comunidades locales. La designación es una fuente de orgullo para las comunidades y también de ingresos económicos a través de la generación de trabajo y el apoyo para negocios locales. Su éxito depende de un proceso de abajo hacia arriba con el compromiso continuo de entidades locales y regionales incluyendo agencias gubernamentales, los dueños de las tierras, los grupos comunitarios, y los negocios turísticos. Requiere compromisos firmes y asociaciones fuertes a largo plazo con el apoyo público y político desde el nivel local al nacional. El mérito de la nominación está evaluado por un equipo científico elegido por UNESCO, y el manejo del sitio es la responsabilidad de entidades en el país en conformidad con las leyes y regulaciones nacionales.

Sitios de Patrimonio Mundial involucran un grado de reconocimiento aún más alto. Proveen un nivel más alto de visibilidad internacional y requieren más esfuerzos. UNESCO provee la siguiente definición de patrimonio mundial:

Patrimonio cultural y natural representa los bienes sin precio y no reemplazables, no solo de cada nación sino de toda la humanidad. La pérdida, por deterioro o desaparición, de cualquiera de estos bienes tan preciados constituye un empobrecimiento del patrimonio de todos en el mundo. Partes de este patrimonio, debido a sus calidades excepcionales, pueden ser consideradas de Valor Universal Excepcional y por ello merecen protección especial contra los peligros que las amenazan.

Igual a geoparques, la nominación para Un Sitio de Patrimonio Mundial se origina dentro del país siguiendo los criterios establecidos por UNESCO. El sitio tiene que cumplir uno o más de los diez criterios. Consideramos que el bosque petrificado cumple dos: 1) contiene fenómenos naturales superlativos o áreas de belleza natural excepcional e importancia estética y 2) es un ejemplo excepcional que representa una etapa mayor de la historia de la tierra, incluyendo el registro de la vida, los procesos geológicos significativos en el desarrollo de formaciones terrestres, o rasgos geomórficos o fisiográficos significativos.

Ejemplos más específicos del valor de bosque petrificado que también podrían ser citados incluyen: 1) la información única que los fósiles proveen sobre el clima Eoceno de los trópicos y la evolución de vegetación neotropical. 2) la calidad de la preservación de la madera petrificada que conserva las características anatómicas y permite el estudio microscópico detallado. 3) el rango de los fósiles como una de las más diversas agrupaciones de maderas fósiles conocida de cualquier parte del

mundo. 4) la condición relativamente prístina del sitio con muchos de los fósiles aún enterrados bajo tierra. 5) el número de artículos científicos publicado sobre los fósiles. 6) lo que los fósiles dicen sobre la vegetación durante un periodo importante en la historia de la vida en el Perú, complementando la información de otros grupos de organismos durante este tiempo. 7) un paisaje que demuestra las fuerzas tectónicas que construyeron la cadena de los Andes (la presencia de fósiles de un manglar en una altitud de 2400 m puede ser comparado al descubrimiento de Darwin de organismos marinos en las alturas de los Andes). 8) el excepcional valor escénico del sitio con su proximidad a uno de los cañones más profundos del mundo y sus vistas de los Andes y más allá

El contexto de conservación: el ambiente y la comunidad de Sexi

El bosque petrificado está ubicado en el corazón de la cuenca del Rio Chancay (Fig. 5A). Las rocas de la Formación Huambos que contienen los fósiles comprenden casi toda el área del Distrito de Sexi y son suaves con una tendencia a formar mesetas como en la que se encuentra el pueblo de Sexi (Fig. 5B, Wilson 1985). La región es parte de la Zona Biogeográfica Amotape-Huancabamba, que se caracteriza por bajos pasos de montaña y altos niveles de biodiversidad (Weigend 2002, 2004; Young y Reynel 1997)

Aparte de los estudios paleobotánicos realizados, dos tipos de investigaciones adicionales se han hecho en el área. Los estudios de la vegetación actual de la región incluyen una encuesta florística (Aragón et al. 2006) y un análisis de la estructura y la dinámica de la comunidad de plantas (Aragón y Woodcock 2010). Esta investigación fue parte del trabajo de doctorado de Susan Aragón en Clark Universidad en Massachusetts. La vegetación original del área es un diverso bosque esclerófilo de hoja ancha o matorral con árboles, arbustos, epifitas, y un tapiz superficial con helechos, geófitos, y orquídeas (Fig. 5 C-E). Las plantas importantes son *Dodonea* (chamana, la planta que da nombre al bosque petrificado), *Polylepis*, *Oreopanax*, *Oreocallis*, *Myrcianthes*, y la orquídea del género *Pleurothallis* (un elemento importante en el tapiz vegetal). Aspectos significativos de la vegetación del área de Sexi, son 1) El denso tapiz vegetal superficial, que permite la acumulación de material orgánico, protege el suelo de la erosión, y proporciona condiciones favorables para la germinación de semillas y el establecimiento de plantas y 2) la presencia de árboles con plantas epifitas que se extienden hacia arriba, entre las nubes y la niebla y atraen agua hacia abajo, poniendo el agua capturada a disposición de los otros componentes de la vegetación. Es un sistema natural en que algunas plantas (los elementos del tapiz superficial, los árboles, las epifitas) facilitan la presencia de otras y hacen posible la diversidad de organismos presentes. El disturbio tiene un efecto pronunciado en este ecosistema: la pérdida de la estructura vertical afecta la estructura vertical de captura hídrica, y el disturbio de la integridad del tapiz superficial deja al suelo y a los suaves sedimentos y rocas

muy vulnerables a la erosión.



Figura 5. (A) La ubicación de sexi dentro de la cuenca del Rio Chancay. (B) La meseta de Sexi (vista al sureste). (C) Orquídea. (D) Árbol con epifitas. (E) *Oreocallis*. (F) El sitio fósil mostrando erosión laminar y la formación de surcos y cárcavas. (G) Una isla de vegetación creada por erosión del sustrato suave.

Otra investigación, realizada por el Ing. Eleazar Ruffasto y estudiantes de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (Ruffasto et al. 2018), incluye un estudio de las propiedades de los suelos del distrito, para obtener información sobre infiltración de los suelos, información útil para identificar las áreas, en función de la pendiente del tipo de suelos, determinar su capacidad de uso, ubicar las zonas más apropiadas para cultivos y determinar prácticas óptimas de uso de la tierra. Los resultados indican que los suelos y sustrato en general se caracterizan por altas tasas de infiltración y que el área es muy vulnerable a los impactos del pastoreo y ramoneo de animales junto con los senderos que ellos hacen, así como la lluvia y otros tipos de disturbio. Muchos lugares presentan un alto grado de erosión y pérdida de la cubierta vegetal. Las fotos expresan el grado de erosión presente, así como lo desprotegido que está el área donde se ubican los fósiles,

la fragilidad de los suelos, y la tendencia de formar islas de vegetación dentro de un paisaje altamente erosionado (Fig. 5F, G). Otra investigación ha notado la alta infiltración de las rocas de la Formación Huambos (Wilson 1985) y la deforestación y el riesgo de deslizamientos en las partes altas de la cuenca (Núñez et al. 2006, Núñez 2007). Las altas tasas de infiltración de agua asociada a estas rocas volcánicas también indica la importancia del área para la recarga de las aguas subterráneas que mantienen el flujo del río y sus afluentes.

Nuestro trabajo científico se ha beneficiado mucho del interés y el apoyo de la gente de Sexi. Esta pequeña comunidad de 450 personas fue fundada a principios del siglo XX cuando algunas familias obtuvieron la propiedad de los terrenos, y aún la mantienen y en parte son manejados comunalmente. Para su subsistencia la

gente depende de la ganadería (campo libre en muchos casos), de algunos cultivos (como arvejas) a un nivel familiar y de subsistencia (alcance limitado), la crianza de animales pequeños, y plantas alimenticias cultivadas en los jardines de las casas. Las condiciones secas y la tendencia a sequía presentan problemas tanto para la agricultura como la ganadería. La comunidad siempre ha tenido lazos económicos con la costa. También se dio la migración a las ciudades costeras por falta de oportunidades económicas y otras razones. Aunque es uno de los distritos más extensos de la provincia de Santa Cruz, Sexi es también uno de los menos desarrollados, pero es conocida la zona por la belleza del paisaje y la manera de vida tradicional. El desarrollo del sitio paleontológico como un recurso para el estudio científico, educación, y turismo es importante para el futuro de la comunidad. Hemos hablado mucho sobre los fósiles como patrimonio, pero también es muy importante ya que son el patrimonio de la gente de Sexi.

Lo afortunado es que las medidas y cosas que se necesitan para proteger y conservar el bosque petrificado y todas las áreas con rocas fosilíferas en el área de Sexi satisfarían otras necesidades también. Cercar y controlar el ingreso de animales a las zonas vulnerables para el pastoreo y el control de ingreso de personas a extraer leña en las pocas áreas de bosque que queda (que mayormente son zonas críticas por su vulnerabilidad a la erosión hídrica como eólica) permitiría la recuperación de la cubierta vegetal y sería un paso importante en la regeneración natural y reforestación del área. Y esto, a su vez, tendría el efecto de proteger las fuentes de agua de las que depende la población local, así como las poblaciones de la costa, específicamente de la región Lambayeque. Además, ayudaría a disminuir la erosión y el riesgo de deslizamientos, y restaurar el rol natural de la región como un área de recarga hídrica para el Río Chancay. Los ecosistemas más intactos apoyarían a la biodiversidad y proporcionarían una base para el desarrollo sostenible. La posición central de Sexi dentro de la cuenca del río Chancay es evidencia que podría ser una adición importante a la red de áreas protegidas que ya existen (Chancay Baños, Chaparri, Udima).

En conclusión, esperamos que, por medio de la buena voluntad y esfuerzos de muchos, el bosque petrificado de Sexi pueda obtener el reconocimiento y las protecciones que merece y que esto a su vez otorgue beneficios múltiples para la región y todos sus habitantes.

Literatura citada

- Antoine PO, Marivaux L, Croft DA, et al. 2012. Middle Eocene rodents from Peruvian Amazonia reveal the pattern and timing of caviomorph origins and biogeography. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279(1732), pp.1319-1326. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1732>.
- Aragón S, Woodcock DW. 2010. Plant community structure and conservation of a Northern Peru sclerophyllous forest. *Biotropica* 42(2): 262-270. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00578.x>
- Aragón S, Rimarachín L, Ayasta J, et al. 2006. Inventario preliminar de la flora del distrito de Sexi, Cajamarca. *Arnaldoa* 13(2):360-9.
- Baatsen M, Van Hinsbergen DJJ, Heydt AS, et al. 2016. Reconstructing geographical boundary conditions for palaeoclimate modelling during the Cenozoic. *Climate of the Past* 12: 1635-1644. <https://doi.org/10.5194/cp-12-1635-2016>
- Baatsen M, von der Heydt AS, Huber M, et al. 2018. Equilibrium state and sensitivity of the simulated middle-to-late Eocene climate. *Climate of the Past Discussion*. <https://doi.org/10.5194/cp-2018-43>
- Bond M, Tejedor MF, Campbell Jr KE, et al. 2015. Eocene primates of South America and the African origins of New World monkeys. *Nature* 520(7548): 538-541. <https://doi.org/10.1038/nature14120>
- Gioncada A, Gariboldi K, Collareta A, et al. 2018. Looking for the key to preservation of fossil marine vertebrates in the Pisco Formation of Peru: new insights from a small dolphin skeleton. *Andean Geology* 45(3): 379-398. DOI: <http://dx.doi.org/10.5027/andgeoV45n3-3122>
- Gregory-Wodzicki KM. 2000. Uplift history of the central and northern Andes: A review. *Geological Society of America Bulletin* 112: 1091-1105. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2000\)112<1091:UHOTCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2000)112<1091:UHOTCA>2.0.CO;2)
- Jenny H. 1941. *Factors of soil formation. A system of quantitative pedology*. McGraw-Hill, New York
- Louterbach M, Roddaz M, Bailleul J, et al. 2014. Evidences for a Paleocene marine incursion in southern Amazonia (Madre de Dios sub-Andean zone, Peru). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 414: 451-471. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.09.027>
- Meyer HW, Allen S. 2018. Evaluación de Monitoreo del Bosque Petrificado Piedra Chamana, Sexi, Perú, Mayo 2018. Preparado por el Ministerio de Cultura, Lima Perú, 22 pp., 1 tabla, 13 mapas y figuras.
- Meyer HW, Young J, Woodcock D. 2006. Inventario y evaluación de sitios paleontológicos en el Bosque Petrificado Piedra Chamana (Cajamarca, Perú) con recomendaciones para conservación. Preparado por el Institute of Culture, Lima Perú, 29 p., 17 mapas, 14 p. apéndice con data.
- Rehner E, Briha J, eds. 2017. *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*. Elsevier.
- Morton CM. 1995. A new genus and species of Dipterocarpaceae from the Neotropics. II. Stem anatomy. *Brittonia* 47(3): 237-247. <https://doi.org/10.2307/2807117>
- Navarro P, Pajuelo D, Woodcock D, et al. 2012. Nuevos aportes sobre la geología del Bosque Petrificado Piedra Chamana, Sexi - Cajamarca. XVI Congreso Peruano de Geología short papers, Lima, Sept. 23-26, 2012.
- Núñez S. 2007. Peligro geológico en el poblado de Huambos. INGEMMET, Lima Perú.
- Núñez S, Rivera R, Chira J, et al. 2006. Estudio geoambiental de la cuenca del río Chancay-Lambayeque. INGEMMET, Lima Perú.
- Osorio Arrascue ED, Montenegro Carrasco W. 2019. Ruta turística Señorío de los Huambos para el turismo rural comunitario. Alternativa para el desarrollo del turismo y la economía inclusiva. *Cultura: Revista de la Asociación de Docentes de la USMP* 33: 235-270. <https://doi.org/10.24265/cultura.2019.v33.13>

- Rufasto Campos EM, Agreda Morgan JE, Becerra Solano MO, et al. 2018. Informe Estudio de Infiltración Santa Cruz - Sexi - Cajamarca. Grupo de Investigación desertificación y sequía, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Terry DO, Woodcock DW, Meyer HM, et al. 2019. Paleopedology of the Piedra Chamana Fossil Forest, Peru. Paleontology on Public Lands: Proceedings of the Eleventh Conference on Fossil Resources, Casper, Wyoming, May 30-June 2, 2019.
- Tomlinson PB. 2016. The botany of mangroves. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139946575>
- UNESCO. <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/6418/>
- Villager F. 2009. El bosque fósil de Secsi. Boletín de Lima 31: 129-141.
- Weigend M. 2002. Observations on the biogeography of the Amotape-Huancabamba Zone in Northern Peru. En: K. Young, U. Ulloa, J. L. Luteyn, et al., eds. Plant Evolution and Endemism in Andean South America. Botanical Review 68: 38-54. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2002\)068\[0038:OOTBOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0038:OOTBOT]2.0.CO;2)
- Weigend M. 2004. Additional observations on the biogeography of the Amotape-Huancabamba zone in Northern Peru: Defining the South-Eastern limits. Revista Peruana de Biología. 11: 127-134.
- Wilson JJ. Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén. Boletín no. 38, INGEMMET.
- Woodcock DW, Meyer H, Dunbar N, et al. 2009. Geologic and Taphonomic Context of El Bosque Petrificado Piedra Chamana (Cajamarca, Peru). Geological Society of America Bulletin 121: 1172-1178. <https://doi.org/10.1130/B26359.1>.
- Woodcock DW, Meyer HW, Prado Y. 2017. The Piedra Chamana fossil woods (Eocene, Peru). International Association of Wood Anatomists Journal 38: 313-365. <https://doi.org/10.1130/B26359.1>.
- Woodcock DW, Meyer H, Prado Y. 2019. The Piedra Chamana fossil woods (Eocene, Peru), part II. In Plant Hydraulic Architecture through Geologic Time; International Association of Wood Anatomists Journal 40: 551-595. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-40190231>
- Woodcock DW, Meyer H. 2020. The Piedra Chamana fossil woods and leaves: A record of the vegetation and paleoenvironment of the Neotropics during the late Middle Eocene. Annals of Botany 2: 1077-1090.
- Young KR, Reynel C. 1997. Huancabamba Region, Peru and Ecuador. En: S. D. Davis, V. H. Heywood, O. Herrera-MacBryde, et al., eds. Centers of Plant Diversity, a guide and strategy for their conservation, Vol. 3. The Americas, pp. 465-469. IUCN Publications Unit, Cambridge, UK.

Agradecimientos / Acknowledgments:

Nuestro agradecimiento al Servicio de Parques Nacionales de los EE. UU. y Los Amigos de Florissant Fossil Beds por su apoyo a nuestros esfuerzos de conservación, educación, y divulgación y para mantener el sitio web dedicado al bosque petrificado (sexi.fossilbeds.org). Gracias también a Nora Vera-Godwin y Carlos Jaramillo para su revisión del manuscrito.

Conflicto de intereses / Competing interests:

Los autores no incurren en conflictos de intereses.

Rol de los autores / Authors Roles:

DW: administración del proyecto, investigación, visualización, escritura. HM: investigación, escritura. YP: revisión y edición. ER: investigación, escritura, revisión. DT: investigación, escritura.

Fuentes de financiamiento / Funding:

Sociedad Americana Filosófica (beca a D. Woodcock). La Fundación Nacional para Ciencia (beca no. 0403510 a DW). National Geographic (beca CP-103R-17 a DW).

Aspectos éticos / legales; Ethics / Legals:

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos ni legales.