

## La *Terra Preta de Índio*: una reflexión ancestral para la enseñanza contemporánea de la química

*Terra Preta de Índio: An Ancestral Reflection for Contemporary Chemistry Teaching*

Aline Villarreal<sup>1</sup>, Rodrigo Villarreal<sup>1</sup>, Hugo Ortiz-Moreno<sup>2</sup> y Rogelio Cuevas-García<sup>1</sup>

### Resumen

Este artículo propone una reflexión sobre el potencial didáctico de la *Terra Preta de Índio*, un suelo amazónico antropogénico, como eje integrador en la enseñanza de la química desde una perspectiva cultural, ambiental e interdisciplinaria. A partir del estudio de su origen en prácticas agrícolas indígenas y su alto contenido de biocarbón, se abordan conceptos clave como pH, reacciones redox, adsorción, capacidad de intercambio catiónico y secuestro de carbono. Se enfatiza el valor de los conocimientos tradicionales para construir soluciones sostenibles frente a problemáticas como la degradación de suelos y el cambio climático. Se propone una secuencia de aprendizaje que destaca la aportación de los pueblos originarios a soluciones contemporáneas. El artículo promueve la integración de contenidos químicos con una visión crítica del conocimiento científico, contribuyendo a una educación contextualizada y comprometida con los desafíos ambientales actuales.

**Palabras clave:** *Terra Preta de Índio*, enseñanza de la química, suelos amazónicos, bicarbón, educación ambiental interdisciplinaria.

### Abstract

This article proposes a reflection on the didactic potential of *Terra Preta de Índio*, an anthropogenic Amazonian soil, as an integrative axis for teaching chemistry from a cultural, environmental, and interdisciplinary perspective. Based on its origin in indigenous agricultural practices and its high biochar content, key concepts such as pH, redox reactions, adsorption, cation exchange capacity, and carbon sequestration are addressed. The value of traditional knowledge is emphasized for building sustainable solutions to challenges such as soil degradation and climate change. A learning sequence is proposed that highlights the contribution of indigenous peoples to contemporary solutions. The article promotes the integration of chemical content with a critical view of scientific knowledge, contributing to contextualized education committed to current environmental challenges.

**Keywords :** *Terra Preta de Índio*, chemistry teaching, Amazonian soils, biochar, interdisciplinary environmental education.

### CÓMO CITAR:

Villareal, A., Villarreal, R., Ortiz-Moreno, H., y Cuevas, R. (2025, noviembre). La *Terra Preta de Índio*: una reflexión ancestral para la enseñanza contemporánea de la química. *Educación Química*, 36(Número especial). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2025.4.91836>

<sup>1</sup> Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, México.

## Introducción

**E**l conocimiento indígena ha aportado al mundo avances en áreas como la agricultura, la medicina, la farmacia, la nutrición y técnicas de cultivo que integran un conocimiento profundo de los recursos locales y del entorno natural (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2024). Estos sistemas de conocimiento indígenas promueven relaciones de respeto, equilibrio y responsabilidad con la naturaleza y otros seres vivos, lo cual puede ayudar a afrontar los retos actuales de la ciencia para lograr el bienestar de la humanidad y su desarrollo sostenible.

Sin embargo, la integración entre los sistemas de conocimiento indígenas y la ciencia “occidental” o convencional es difícil, y a menudo la primera queda relegada, minimizando sus contribuciones e ignorándolas (Gaete Coddou, 2024). En la enseñanza de las ciencias, esta omisión prolonga una visión colonialista, eurocéntrica y hegemónica del conocimiento científico (Fregoso Bailón y De Lissovov, 2019); por ejemplo, en los programas de biología suele omitirse el conocimiento tradicional sobre el uso medicinal de plantas, a pesar de que este saber ha nutrido históricamente la farmacología moderna (Guzmán-Rosas, S., et al., 2015).

*La Terra Preta de Índio* es un suelo de origen antropogénico creado por comunidades indígenas establecidas en las riberas del Amazonas que tiene una fertilidad superior a la del suelo de los alrededores (Lehmann et al., 2004). Durante años se dudó de la naturaleza antropogénica de este tipo de suelos debido a que se pensaba que los habitantes de esta parte del mundo no habían desarrollado suficiente conocimiento para modificar su entorno a largo plazo y porque se creía que el tamaño de las comunidades establecidas en el Amazonas era muy pequeño (Hilbert y Soentgen, 2021).

Sin embargo, desde hace algunos años se ha reportado la naturaleza y el origen de la Terra Preta; además, se ha resaltado su alta fertilidad (Ponraj et al., 2024) y su contribución como sumidero de CO<sub>2</sub>, lo que puede ayudar a disminuir los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Ponraj et al., 2024). Desde el punto de vista químico, la Terra Preta permite contextualizar y aplicar temas como la importancia de la materia orgánica en el suelo, el pH, las reacciones redox, la adsorción de sales, entre otros. Es importante señalar que el resurgimiento e interés por la Terra Preta no ha ido acompañado del reconocimiento de las prácticas indígenas que la originaron y que siguen utilizando el conocimiento ancestral para mejorar su entorno (Hilbert y Soentgen, 2021).

El presente artículo tiene por objetivo exponer el potencial didáctico del estudio de la *Terra Preta de Índio* como estrategia para enseñar química desde una perspectiva cultural, ambiental e interdisciplinaria. En este artículo, utilizamos la definición de potencial didáctico de Porlán (1993), ya que mostraremos cómo el tema de la Terra Preta se puede utilizar para suscitar preguntas, conflictos cognitivos, intereses o actitudes que favorezcan la construcción del conocimiento.

El artículo está estructurado en cinco secciones: primero, se abordan los aspectos generales de la Terra Preta, haciendo énfasis en su génesis relacionada con prácticas indígenas y su potencial como sumidero de CO<sub>2</sub>; la segunda sección se centra en la producción y características del biocarbón como elemento primordial para la formación de la Terra Preta. Enseguida, se abordan conceptos fundamentales de la química de suelos a partir del análisis de la Terra Preta como caso de estudio. Las últimas secciones exponen el uso de la Terra Preta en la educación en ciencias y presentan una secuencia de aprendizaje detallada.

### El oro negro de la Amazonía: La *Terra Preta de Índio*

La característica que ha atraído más fama a la Terra Preta es su excepcional fertilidad, la cual fue reportada desde las primeras menciones de su existencia y ha sido ampliamente documentada y analizada (Archanjo et al., 2014; Schellekens et al., 2017). Una característica de los suelos muy fértiles es su capacidad de proveer nutrientes necesarios para el desarrollo de las especies vegetales; dentro de estos nutrientes, el nitrógeno (N) y el fósforo (P) son de especial relevancia (Weil y Brady, 2017). Esta capacidad no solo está relacionada con la cantidad de N y P, además de otros nutrientes en el suelo, sino también con las especies químicas presentes y su biodisponibilidad.

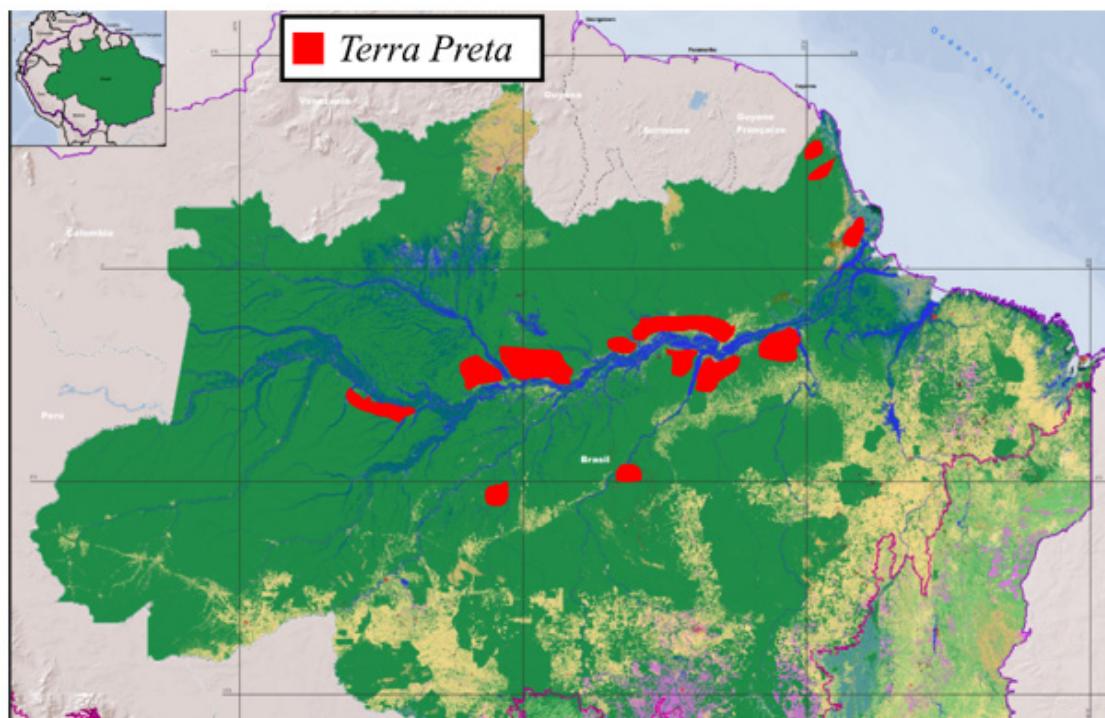
Una de las primeras controversias sobre la Terra Preta fue su origen. En la primera mitad del siglo XX, Hebert Smith y Friedrich Katzer reportaron la existencia de suelos negros con una fertilidad muy superior a la de los suelos circundantes y los atribuyeron a procesos naturales, vinculando su riqueza a depósitos dejados por antiguos lagos en la región (Golińska, 2014). Sin embargo, posteriores investigaciones mostraron numerosos sitios con Terra Preta donde aparecían restos de vasijas de barro y desechos de cultivos como la yuca y otras especies usadas por pueblos amazónicos, lo que llevó a cuestionar la hipótesis inicial. El científico Curt Unkel, reconocido investigador de las culturas amerindias, propuso entonces un origen antropogénico para estos suelos (Hilbert y Soentgen, 2021). Hoy se sabe que la Terra Preta es el resultado de prácticas indígenas dirigidas a mejorar la fertilidad del suelo y sostener la producción de alimentos para una población en crecimiento (Nordenskiold, 1929; Posey, 2000).

Esta Terra Preta tiene un color negro característico; asimismo, existen sitios en donde la tierra es más clara, pero tiene un contenido de carbono similar, a los que se les ha llamado Terra Mulata (Lehmann et al., 2004). En estos últimos sitios se ha determinado un menor contenido de otros nutrientes como fósforo o calcio. Se ha postulado que la diferencia entre estos dos suelos de origen antropogénico es que, para la formación de la Terra Preta, se incorporaron grandes cantidades de carbón vegetal, restos de alimentos y restos de cerámica (Schmidt et al., 2023). Estos elementos proporcionan al suelo su composición característica.

La principal causa de esta controversia es que la población actual de la región amazónica es mucho menor a la que se estima que hubo en tiempos precolombinos (Palace et al., 2017). Asimismo, los patrones actuales de asentamiento son mucho más volátiles que los del pasado. Existen evidencias de que la Amazonía estaba densamente poblada en el siglo XV y que la capacidad de las comunidades para soportar el crecimiento sostenido requirió del manejo de la fertilidad de sus suelos (Levis et al., 2020; Palace et al., 2017). Una teoría es que, después de la llegada de los primeros exploradores europeos, la densidad de

población de la región disminuyó drásticamente debido a la expansión sin control de nuevas enfermedades. La principal causa del desconocimiento de las sociedades amazónicas precolombinas y sus técnicas de cultivo es la escasez de reportes al respecto y la falta de fuentes originales (Hilbert y Soentgen, 2021). Por cualquiera de estos motivos, las técnicas de mejoramiento de la fertilidad del suelo se diluyeron y crearon un símil llamado Terra Mulata, cuyas diferencias se explican más adelante.

Los datos indican que la mayoría de los sitios en los que se identifica Terra Preta tienen entre 500 y 2,500 años, con amplia variabilidad en la edad de estos sitios, y se encuentran a lo largo de la cuenca de los ríos Amazonas y Madeira en la Amazonia central, entre Manaus y Satarem, como se muestra en la Figura 1. Por lo general, se encuentra cerca de fuentes pluviales y peñascos, indicando que su ubicación era intencionada, con miras a mejorar la comunicación y la defensa de las zonas de Terra Preta (Lehmann, 2009; Lehmann et al., 2004).



**FIGURA 1.** Ubicación de zonas con una cantidad considerable de Terra Preta en la zona del Amazonas. La mayoría de las zonas con este tipo de suelo se encuentran entre las localidades de Manaus y Satarem. Datos tomados de Lehmann (2025), mapa adaptado de MapBiomass Amazonia (2025).

En general, los suelos de la Amazonía están altamente erosionados y son bajos en los nutrientes disponibles para el desarrollo de las especies vegetales; por este motivo, es necesario adicionar grandes cantidades de fertilizantes para cultivar y explotar estos suelos (Silva et al., 2021). Para fertilizar los suelos, las sociedades indígenas utilizaron enmiendas orgánicas. El contenido de carbono y otros nutrientes en la Terra Preta nos puede indicar cuáles fueron las enmiendas orgánicas que se utilizaron y, además, si la formación de estos suelos fue intencional o fortuita (Lehmann et al., 2004; Schmidt et al., 2023).

La fuente de carbón de la Terra Preta ha sido también un elemento de debate. La roza y quema sigue siendo un sistema agrícola ampliamente practicado por pueblos indígenas y grupos étnicos minoritarios en regiones tropicales (van Vliet et al., 2012). En este método,

los campos de cultivo son despejados; posteriormente, el material acumulado se quema, se siembran los cultivos que se desean explotar y, finalmente, el ciclo se repite (Bezerra et al., 2024; Cairns, 2015). Este método de cultivo provoca un eventual consumo de los nutrientes presentes en el suelo, y después de varios ciclos de cultivo los campos deben abandonarse y se ocupan nuevos campos.

En contraste, el alto contenido de carbono en la Terra Preta y su gran fertilidad indican que la creación de estos suelos no se debió al método de roza y quema, es decir, que el carbón vegetal incorporado al suelo no proviene solamente de restos orgánicos derivados de la quema de cultivos. Glaser et al. (2001) calcularon que, para alcanzar el contenido de carbono presente en la Terra Preta, serían necesarios 25 ciclos de roza y quema, lo cual no es un escenario realista. Por lo tanto, el carbono contenido en los suelos debe provenir de otra fuente. Se ha encontrado que la principal forma de incorporación de carbono a la Terra Preta es por medio del uso de carbón vegetal, o más propiamente, de biocarbón. A la luz de estos estudios, el biocarbón surge como alternativa para mejorar suelos y mantener parte del carbono en los mismos, de manera que se recupere lo que se ha perdido al convertir bosques y sabanas en superficies de cultivo. Al mismo tiempo, vale la pena preguntarse si esta será realmente la respuesta a la crisis de erosión de suelos que sufrimos en la actualidad.

A partir de lo discutido anteriormente, podemos remarcar algunas cosas: en primer lugar, la distribución geográfica y la heterogeneidad de los sitios con Terra Preta apuntan a que este suelo tiene origen antropogénico y que su creación por parte de las comunidades indígenas asentadas en la ribera del Amazonas obedece a la necesidad de incrementar la fertilidad del suelo que tenían en su ambiente; por otro lado, podemos hipotetizar que, en concordancia con las características de los sistemas de conocimiento indígenas (Tengo et al., 2014), la creación de Terra Preta a partir de enmiendas orgánicas provenientes de residuos obedece directamente a las características específicas del territorio y a la observación directa.

Por último, a diferencia de otros saberes indígenas aún vigentes, la producción de Terra Preta en gran parte de la Amazonia se interrumpió tras el contacto europeo (ca. 1500–1600) debido a la depopulación masiva y la disrupción sociopolítica; el desplazamiento y la reubicación de comunidades bajo la ocupación colonial redujeron el sedentarismo necesario para sostener esas prácticas (Denevan, 1992; Hilbert y Soentgen, 2020). La cronología arqueológica muestra que la formación de Terra Preta en sitios de la Amazonia central se concentra en períodos prehispánicos y temprano-coloniales, con escasa o nula continuidad posterior (Neves et al., 2004).

### **Biocarbón como remediador de suelos y sumidero de carbono**

Como se explicó en la sección anterior, una de las razones de la elevada fertilidad de la *Terra Preta* es la incorporación de una cantidad importante de biocarbón. El biocarbón es un material sólido rico en carbono que se obtiene mediante pirólisis de biomasa en condiciones de oxígeno limitado (Lehmann y Joseph, 2015). Es un material con alta estabilidad química, elevada proporción de carbono aromático y una estructura porosa, lo que le confiere una notable resistencia a la degradación microbiana y lo convierte en un sumidero de carbono efectivo a largo plazo. Además, al ser incorporado en suelos, mejora propiedades como la fertilidad, la retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico, contribuyendo simultáneamente a la remediación de suelos y a la mitigación del cambio climático.

La eficacia del biocarbón para remediar suelos depende de la biomasa de origen, las condiciones de síntesis y eventuales tratamientos posteriores, así como de la cantidad incorporada y del tipo de suelo al que se adiciona; sus rasgos físicos (área superficial, porosidad) y químicos (pH, CIC, grupos funcionales) son decisivos. La persistencia del carbono se relaciona con contenido de C, H/C, O/C, materia volátil, estabilidad térmica, porosidad y pH (Tomczyk et al., 2020). El biocarbón es capaz de remover contaminantes por interacción electrostática, intercambio iónico, complejación y precipitación, procesos controlados por pH, carga superficial y grupos funcionales (Ponraj et al., 2024).

El biocarbón también modula la actividad y composición microbiana, al ofrecer porosidad, retención de agua, ajuste de pH y nutrientes; puede servir de refugio de microorganismos y fuente de carbono; estos efectos inciden en la descomposición y estabilización del carbono (Bolan et al., 2024). Además, ha demostrado eficacia para inmovilizar metales pesados (Pb, Cd, Cu, Hg) y contaminantes orgánicos persistentes (PAH, antibióticos), reduciendo su biodisponibilidad. Se han reportado aumentos de flujo de CO<sub>2</sub> con biocarbones de madera y mayor respiración microbiana con los de estiércol en ciertos estudios (Qiu et al., 2022; Bekchanova et al., 2024). El potencial de secuestro de carbono se asocia a su resistencia a la descomposición: a diferencia de la biomasa fresca, los hidrocarburos aromáticos persistentes del biocarbón duran siglos y son parcialmente accesibles a la degradación; métricas como H/C y O/C estiman su estabilidad, y valores H/C < 0.4 y O/C < 0.2 se asocian con vidas medias mayores de 1000 años (Lehmann y Joseph, 2015).

## La química de la Terra Preta

Como se explicó anteriormente, la solución de los pueblos amazónicos para aumentar la fertilidad del suelo fue la incorporación de materia orgánica proveniente de residuos, restos de vasijas y carbón vegetal o biocarbón. El biocarbón, proveniente de un proceso de oxidación controlada de materia orgánica, tiene características químicas que provocan que adsorba y libere controladamente contaminantes y promueva la inclusión de carbono en el suelo por largos períodos de tiempo. Cabe destacar que, al ser un proceso antropogénico y temporal, las características químicas en los sitios de Terra Preta no son idénticas, pero sí comparten un perfil químico particular (Schellekens et al., 2017).

A continuación, se provee más información acerca de las bases químicas que explican, desde el punto de vista de la ciencia tradicional, el origen de las características antes mencionadas del biocarbón.

En la sección anterior se mencionó que el carbono contenido en el biocarbón y su relación H/C y O/C juegan un papel fundamental en la estabilidad del biocarbón en el suelo. Las estructuras aromáticas policondensadas presentan relaciones O/C bajas debido a que consisten en grandes anillos de carbono fusionados con una cantidad mínima de grupos funcionales oxigenados. Esto les confiere resistencia microbiana por dos razones clave: la primera es que la baja relación O/C indica pocos sitios polares u oxidables (p. ej., hidroxilo, carboxilo), lo que limita el ataque enzimático microbiano, ya que la mayoría de los microbios del suelo dependen de grupos funcionales oxigenados para iniciar la degradación; por otro lado, los anillos aromáticos altamente condensados forman redes planas, rígidas y ricas en electrones que son termodinámicamente estables y energéticamente costosas de descomponer, especialmente en condiciones aeróbicas del suelo (Bolan et al., 2024). Esta información se muestra de manera esquemática en la Tabla 1.

Característica	Suelo sin biocarbón	Suelo con biocarbón	Implicaciones
Estructura de los carbonos	Mezcla alifática/ aromática	Anillos aromáticos condensados	Se requiere mayor energía de activación para la degradación microbiana
Relación H/C	Alta (más alifáticos)	Baja	Bajo H/C implica menor condensación aromática
Relación O/C	Alta	Baja	Menos sitios para iniciar la oxidación
Cantidad de grupos funcionales con -O	Abundantes	Escasos	Menos puntos de ataque enzimático
Sitios de oxidación	Muchos	Pocos	Limitación de inicio de ataque enzimático
Costo energético de la descomposición	Bajo/moderado	Alto	Menor rentabilidad de descomposición
Efecto sobre la persistencia del carbono	Corto/moderado	Prolongado (favorecido aún más en condiciones anaeróbicas)	Favorece la retención de carbono a largo plazo

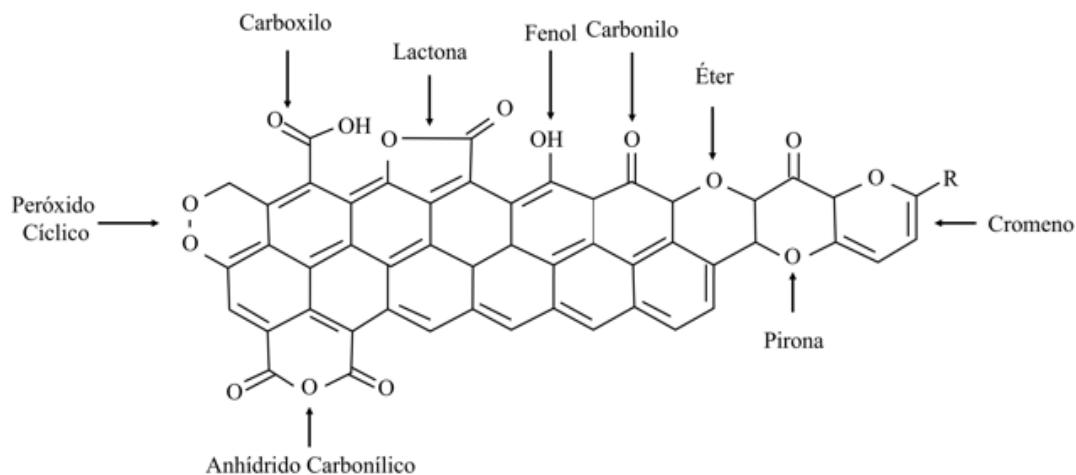
**TABLA 1.** Comparación entre las características químicas de los suelos con/sin biocarbón y sus implicaciones para la resistencia a la degradación ante microorganismos.

Las relaciones H/C y O/C del biocarbón dependen de la biomasa de origen y del proceso de conversión. La pirólisis lenta maximiza el rendimiento, mientras que la carbonización hidrotermal y la pirólisis por microondas permiten procesar biomasa húmeda y reducir costos de secado (Tomczyk et al., 2020). La torrefacción (200–300 °C), útil para densificar biomasa, no es idónea para biocarbón estable porque produce O/C altas (0.4–0.6) y baja aromaticidad. En cambio, la pirólisis a 400–700 °C genera biocarbones más aromáticos y policonjugados, más estables y adecuados para el secuestro de carbono (Ciolkosz y Wallace, 2011).

La aplicación de biocarbón al suelo puede modificar tanto el pH como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), aunque la magnitud del efecto depende de las propiedades específicas del material, determinadas por la materia prima, las condiciones de pirólisis y el tipo de suelo en el que se incorpora. En términos generales, el biocarbón tiende a elevar el pH, actuando como una enmienda alcalinizante gracias a su fracción de cenizas rica en carbonatos, óxidos y sales básicas. Este efecto se manifiesta con mayor claridad en suelos ácidos y está regulado por la carga superficial y los grupos funcionales presentes en el biocarbón (Lehmann y Joseph, 2015).

Por su parte, la adición de biocarbón al suelo puede incrementar la CIC de manera directa e indirecta. De forma inmediata, este incremento es principalmente atribuible a los grupos funcionales oxigenados en la superficie del biocarbón, que proporcionan sitios de carga negativa (Figura 2), capaces de retener cationes como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ . Sin embargo, dado que muchos biocarbones presentan inicialmente una baja cantidad de oxígenos funcionales debido a la naturaleza reductora de la pirólisis, los aumentos más

significativos de CIC tienden a observarse a largo plazo, conforme el biocarbón se oxida y envejece en el suelo, proceso que incrementa el desarrollo de nuevas cargas superficiales (Lehmann y Joseph, 2015; Ponraj et al., 2024). Adicionalmente, el biocarbón puede estimular la actividad microbiana y promover la estabilización de la materia orgánica en el suelo, lo que también contribuye indirectamente al aumento de la CIC, dado que la materia orgánica posee una alta capacidad de intercambio catiónico por unidad de masa.



**FIGURA 2.** Representación de algunos grupos funcionales presentes en el biocarbón, elaboración propia con base en lo reportado por Lehmann y Joseph (2015).

La adición de biocarbón al suelo modifica significativamente la composición química, afectando la disponibilidad de macro- y micronutrientes, así como de minerales y metales traza. En términos de macronutrientes, el biocarbón mejora la retención de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y reduce la lixiviación de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), aunque no es en sí una fuente significativa de nitrógeno (Gao et al., 2019). También puede incrementar la disponibilidad de fósforo (P) en suelos ácidos al elevar el pH y liberar P bloqueado, mientras que actúa como fuente lenta de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), especialmente cuando contiene una alta fracción de cenizas. En cuanto a los micronutrientes como hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn), el aumento del pH inducido por el biocarbón puede reducir su disponibilidad por precipitación y adsorción en la superficie del biocarbón (Hailegnaw et al., 2020).

### **La Terra Preta de Índio en la educación química**

Además de la literatura previamente citada, que se enfoca fuertemente en la caracterización de las propiedades químicas de los suelos del tipo *Terra Preta de Índio* a nivel de ciencia básica y aplicada, el mismo tema ha inspirado estudios en diversas áreas científicas que a menudo involucran alta interdisciplinariedad entre la Arqueología, la Antropología y las ciencias del suelo (García, 2015; Peña, 2016). Sin embargo, en el área de la educación química apenas se pueden localizar planteamientos incipientes a nivel de bosquejo, sin una propuesta concreta de técnica pedagógica o secuencias de enseñanza-aprendizaje claramente definidas.

Por ejemplo, Rodrigues et al. (2021) proponen implementar una huerta en el espacio escolar y, tomando como eje el conocimiento de Terra Preta, abordar: a) la representación de elementos químicos; b) la formación de iones; c) propiedades periódicas; d) atracción electrostática y movimiento de cargas eléctricas; e) reacciones químicas; y f) solubilidad de compuestos orgánicos.

Los autores omitieron indicar que la implementación de su propuesta debería contemplar un tiempo suficientemente largo para permitir la preparación del suelo de la huerta escolar. Adicionalmente, la propuesta requiere del diseño de una serie de actividades parciales con el fin de visualizar los contenidos del temario curricular en las propiedades del suelo de la huerta y en el proceso de crecimiento del cultivo. Para propuestas con tales características, es recomendable un abordaje bajo un enfoque preferente de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPy), que enseña mediante el diseño y ejecución de proyectos y puede implicar hasta el 50% del tiempo del estudiante en el curso (Hernández-de-Menéndez, 2019; García-Peñalvo, 2022); o, alternativamente, bajo un enfoque de Aprendizaje Basado en Retos (ABR), que enseña mediante situaciones reales relevantes y retadoras, involucrando a los alumnos en el proceso de definición del problema y la implementación de la solución. Todo el proceso puede abarcar desde una semana hasta un semestre completo (Hernández-de-Menéndez, 2019; Alves y Duarte, 2023).

En contraste, el estudio de suelos en general sí se ha utilizado como tema de estudio para la educación química con técnicas y secuencias de enseñanza-aprendizaje bien establecidas (Pieraccioni, 2016; Acharya, 2019), la mayoría enmarcadas en el aprendizaje activo, brevemente explicado como “un enfoque educativo interactivo y centrado en el estudiante, que lo involucra como actor principal de su propio aprendizaje al realizar actividades significativas que promueven su pensamiento crítico en la construcción de su conocimiento” (Ortiz, 2025).

Entre las metodologías más usadas se encuentran el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), donde equipos pequeños analizan problemas reales o ficticios para un aprendizaje activo (Hernández-de-Menéndez, 2019; Perez, 2017); el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPy), que enseña mediante el diseño y ejecución de proyectos (Hernández-de-Menéndez, 2019; García-Peñalvo, 2022); y el Aprendizaje Basado en la Indagación, que da autonomía para formular preguntas, diseñar experimentos y validar resultados, fomentando descubrimiento y modelación (Ghadi y Mammucari, 2021). Otra técnica frecuente, aunque poco explicitada, es el Aprendizaje Basado en Estudio de Caso (ABEC), que emplea narrativas de situaciones reales para análisis y toma de decisiones (Dharmaratne, 2022). Disponer de un caso real plenamente caracterizado aporta abundante información y facilita el trabajo del alumnado.

## Presentación de una secuencia didáctica

El presente artículo ofrece una oportunidad valiosa para integrar contenidos de química ambiental, química de suelos y ciencia de materiales en la formación de estudiantes de pregrado. Se puede utilizar como base para desarrollar actividades didácticas que combinen el aprendizaje de conceptos fundamentales —como pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), adsorción y redox— con una reflexión crítica sobre el conocimiento indígena y su contribución al desarrollo sostenible. Además, el enfoque interdisciplinario permite promover competencias en educación ambiental y química verde, facilitando el análisis de problemáticas contemporáneas como el cambio climático y la remediación de suelos.

Dado que el presente trabajo se enmarca en una convocatoria que propone integrar los saberes de los pueblos originarios en la educación química, la instrumentación de cualquier metodología de aprendizaje sin hacer explícita la procedencia de los saberes que originaron la Terra Preta invisibilizaría la importante contribución de los pueblos de la región a la ciencia moderna. Por ello, la propuesta de secuencia didáctica que se presenta a continuación se establece en el formato de Aprendizaje Basado en Estudio de Caso (ABEC).

**TABLA 2.** Desglose de la secuencia de aprendizaje propuesta para una clase de química utilizando ABEC basado en *Terra Preta de Índio* (TPI).

Para ilustrar la aplicabilidad del ABEC en un escenario de tiempo restringido, se propone desarrollar el caso de la *Terra Preta de Índio* en una sola sesión de 1.5 a 2.0 horas para un curso de química en nivel medio-superior o superior. En la Tabla 2 se presenta una secuencia de aprendizaje desglosada en seis etapas, cada una con la descripción de las actividades propuestas y de las funciones que cubren. Cabe enfatizar la recomendación al aplicante de adaptar las actividades propuestas a las condiciones particulares del curso y del estudiantado.

Secuencias de aprendizaje		
Propuesta 1. Estudio de caso: <i>Terra Preta de Índio</i> , legado de los pueblos precolombinos de la Amazonía para la sostenibilidad.	Método (ABEC)	
<b>Conocimientos previos sugeridos:</b> formas alotrópicas de carbono, ciclo del carbono, modelos atómicos, representación simbólica de elementos, iones y moléculas, cambio químico, conceptos de ácidos y bases, reacciones de combustión completa e incompleta, composición química de algunos minerales y arcillas.		
<b>Objetivo de aprendizaje:</b> 1) Demostrar que algunas de las problemáticas actuales pueden resolverse con estrategias que los pueblos originarios establecieron en la época precolombina. 2) Explicar los fundamentos científicos que posibilitan la replicabilidad de <i>Terra Preta</i> utilizando los conocimientos de química básica del temario visto.		
Etapa	Descripción	Función
<b>1. Introducción</b> [4 minutos]	El ABEC se introduce al grupo explicando sus objetivos y la secuencia a seguir.	Favorecer la disposición de los alumnos para realizar la serie de actividades proporcionándoles una estructura y propósito.
<b>2. Situación detonadora (SD)</b> [4 minutos]	<p>El estudio de caso se plantea con una situación detonadora mediante un enunciado inicial, por ejemplo:</p> <p>“En 1871 Charles Hartt, un geólogo, paleontólogo y naturalista estadounidense que investigó la Amazonía brasileña, describió por primera vez, un tipo de suelo negro con gran cantidad de fragmentos cerámicos e inusualmente fértil para lo acostumbrado en la selva amazónica, y en general respecto de los suelos selváticos. Más tarde se conocería como <i>Terra Preta de Índio</i> a este tipo de suelo.</p> <p>En la actualidad, está demostrado que la fertilidad de la <i>Terra Preta</i> es el resultado de la manera como los pueblos precolombinos que habitaron la región gestionaron sus residuos orgánicos y cerámicos, en combinación con la ejecución de quemas controladas periódicas.</p> <p>Lo anterior contrasta con el ritmo de degradación de suelos mundial anual de 100 millones de hectáreas anuales, reportado por la ONU, que revela la mala gestión del suelo de nuestras sociedades contemporáneas y una grave amenaza para sustentar a una población mundial creciente, de más de 8 mil millones de personas.”</p>	<p>La SD está diseñada para cumplir con 3 funciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Expone una problemática urgente que capta la atención del estudiante (la pérdida de suelo fértil).</li> <li>2. Revela que la solución a la problemática puede abordarse con técnicas desarrolladas por pueblos originarios de la Amazonía.</li> <li>3. Introduce algunas de las características (suelo negro, restos cerámicos, elevada fertilidad) y tratamientos (quemas periódicas controladas).</li> </ol>

<p><b>3. Hipótesis</b> <b>[6 minutos]</b></p>	<p>Con base en el texto y los conocimientos del temario de química cubiertos hasta el momento, se pide a los alumnos redactar hipótesis individuales, en duplas o tríos sobre: A) las características de la Terra Preta y su relación con la fertilidad. B) la relación con las quemas periódicas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ejercitar la formulación de hipótesis.</li> <li>2. Favorece la búsqueda de conexiones entre los conocimientos teóricos recién adquiridos y problemáticas reales.</li> </ol>
<p><b>4. Lectura de fuentes</b> <b>[20 minutos]</b></p>	<p>Se instruye la lectura por equipo de uno o dos artículos previamente seleccionados. La parte expositiva de la Terra Preta y las propiedades del suelo relacionadas con su fertilidad, en el presente artículo son óptimas para tal propósito.</p> <p>Durante esta actividad, el docente se desplaza por el salón proporcionando asistencia a los alumnos y monitoreando su avance.</p> <p>La lectura debe estar guiada por enunciados y preguntas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Con base en la lectura, explica brevemente a qué se conoce como Terra Preta y las principales razones para su denominación como suelo antropogénico.</li> <li>• Enlista y describe brevemente, al menos cinco propiedades químicas de la Terra Preta.</li> <li>• Confirma o descarta las hipótesis que formulaste en la etapa 3, fundamenta tus decisiones.</li> <li>• Propón una manera de utilizar los conocimientos del temario de química para medir una o dos propiedades del suelo relacionadas con su fertilidad.</li> <li>• Reflexiona en la manera como los pueblos precolombinos de la amazonía gestionaban los recursos de su entorno ¿dirías que lo hacían de manera sustentable?, explica.</li> <li>• Aporta y explica otros ejemplos saberes o gestión de recursos practicados por pueblos precolombinos, cuya incorporación a nuestra ciencia y técnica consideras que beneficiarían a nuestras sociedades.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desarrollar y ejercitar habilidades y competencias para el análisis de textos científicos.</li> <li>2. La formación de equipos pequeños favorece una lectura más efectiva si se logra buena comunicación interna.</li> <li>3. La asistencia del docente a los alumnos les proporciona sensación de acompañamiento y reduce riesgo de inactividad por desmotivación o desinterés.</li> <li>4. La acción mínima de responder un cuestionario guía que forma parte de un entregable, reduce la posibilidad de inactividad de los alumnos.</li> <li>5. Los enunciados y preguntas tienen la función de ayudar al estudiante a enfocarse en aspectos medulares para la comprensión del caso en un escenario de tiempo limitado.</li> <li>6. Constituye un producto de equipo que puede entregarse físicamente o en línea.</li> </ol>
<p><b>5. Mesa redonda</b> <b>[20 minutos]</b></p>	<p>Se instruye la discusión en mesa redonda para compartir y discutir las respuestas redactadas por cada equipo, así como también animar a los estudiantes a aportar hallazgos y opiniones.</p> <p>El docente funge como guía durante todo este proceso, al mismo tiempo que evalúa el involucramiento de los alumnos, por ello en este momento se recomienda alentar respuestas de los alumnos más inactivos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proporciona la oportunidad de construir el conocimiento de manera colectiva, mientras se corrigen posibles fallas e inexactitudes.</li> <li>2. Constituye un momento de evaluación.</li> </ol>

<b>6. Conclusión</b> <b>[15 minutos]</b>	Manteniendo la mesa redonda, se solicita la construcción grupal de un conjunto de conclusiones reducido, pero asegurándose de que condensen las relaciones entre los contenidos del temario y las propiedades de un suelo fértil, así como también incluir al menos una conclusión referente a la necesidad de incorporar los saberes de los pueblos originarios en las ciencias contemporáneas.	1. Desarrollar y ejercitar habilidades para la formulación de conclusiones. 2. Asegurar la correspondencia entre los objetivos de aprendizaje y las conclusiones alcanzadas. 3. Proporcionar retroalimentación oportuna.
---	--	--

### Reflexión final

La *Terra Preta de Índio* evidencia que los saberes ancestrales poseen un valor científico y pedagógico que no puede seguir siendo ignorado. Su estudio permite tender puentes entre química, sostenibilidad y patrimonio cultural, ofreciendo un caso paradigmático de interdisciplinariedad. Reconocer este legado en la enseñanza preuniversitaria y universitaria fortalece una ciencia más crítica y plural. En consecuencia, se reafirma la necesidad de integrar los conocimientos originarios en la formación química para responder a los retos socioambientales actuales. Finalmente, su incorporación en el aula constituye una oportunidad didáctica para formar estudiantes capaces de articular teoría y práctica en contextos reales.

### Referencias

- Acharya, K. P. (2019). Demystifying science teachers' epistemic belief on chemical concepts: Students' engagement in the school garden. *Pedagogical Research*, 4(4). <https://doi.org/10.29333/pr/5943>
- Alves, J. L., y Duarte, T. (2023). Teaching ceramic materials in mechanical engineering: An active learning experience. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 51(1), 23–46. <https://doi.org/10.1177/03064190221142096>
- Archanjo, B. S., Araujo, J. R., Silva, A. M., Capaz, R. B., Falcão, N. P. S., Jorio, A., y Achete, C. A. (2014). Chemical analysis and molecular models for calcium–oxygen–carbon interactions in black carbon found in fertile Amazonian anthrosols. *Environmental Science y Technology*, 48(13), 7445–7452. <https://doi.org/10.1021/es501046b>
- Bekchanova, M., Campion, L., Bruns, S., Kuppens, T., Lehmann, J., Jozefczak, M., Cuypers, A., y Malina, R. (2024). Biochar improves the nutrient cycle in sandy-textured soils and increases crop yield: A systematic review. *Environmental Evidence*, 13(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s13750-024-00326-5>
- Bezerra, J. S., Arroyo-Rodríguez, V., Arasa-Gisbert, R., y Meave, J. A. (2024). Multiscale effects of slash-and-burn agriculture across the tropics: Implications for the sustainability of an ancestral agroecosystem. *Sustainability*, 16(22), 9994. <https://doi.org/10.3390/su16229994>
- Bolan, S., Sharma, S., Mukherjee, S., Kumar, M., Rao, Ch. S., Nataraj, K. C., Singh, G., Vinu, A., Bhowmik, A., Sharma, H., El-Naggar, A., Chang, S. X., Hou, D., Rinklebe, J., Wang, H., Siddique, K. H. M., Abbott, L. K., Kirkham, M. B., y Bolan, N. (2024). Biochar modulating soil biological health: A review. *Science of the Total Environment*, 914, 169585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169585>

- Cairns, M. F. (Ed.). (2015). *Shifting cultivation and environmental change: Indigenous people, agriculture and forest conservation*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315796321>
- Ciolkosz, D., y Wallace, R. (2011). A review of torrefaction for bioenergy feedstock production. *Biofuels*, 2(1), 47–70. <https://doi.org/10.1002/bbb.275>
- Denevan, W. M. (1992). The pristine myth: The landscape of the Americas in 1492. *Annals of the Association of American Geographers*, 82(3), 369–385.
- Dharmaratne, A., Fung, T., y Abaei, G. (2022). Implementing a successful collaborative active learning approach in information technology discipline. In C. Chang-Tik, G. Kidman, & M. Y. Tee (Eds.), *Collaborative active learning* (pp. 237–267). Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-4383-6>
- Fregoso Bailón, R. O., y De Lissovoy, N. (2019). Against coloniality: Toward an epistemically insurgent curriculum. *Policy Futures in Education*, 17(3), 355–369. <https://doi.org/10.1177/1478210318819206>
- Gaete Coddou, G. (2024, agosto 27). Los pueblos indígenas: Precursoros de la ciencia moderna. Universidad de Playa Ancha. <https://www.upla.cl/noticias/2024/08/27/los-pueblos-indigenas-precursoros-de-la-ciencia-moderna/>
- García-Peñalvo, F. J., Sein-Echaluce, M., y Fidalgo-Blanco, A. (2022). Trends on active learning methods and emerging learning technologies. In *Lecture Notes in Educational Technology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-7431-1>
- Ghadi, A. E., y Mammucari, R. (2021). An active laboratory learning experience for chemical engineering students facilitated by hypothesis testing. *Proceedings of AAEE 2021, The University of Western Australia*. <https://doi.org/10.52202/066488-0062>
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., y Zech, W. (2001). The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88(1), 37–41. <https://doi.org/10.1007/s001140000193>
- Golińska, B. (2014). Amazonian dark earths in the context of pre-Columbian settlements. *Geology, Geophysics & Environment*, 40(2), 219. <https://doi.org/10.7494/geol.2014.40.2.219>
- Guzmán-Rosas, S., Kleiche-Dray, M., Zolla, C., y Suaste-Gómez, E. (2015). The exclusion of indigenous traditional knowledge in the higher education: The case of traditional medicine and the Mexican medical education. *Creative Education*, 6, 867–879. <https://doi.org/10.4236/ce.2015.69089>
- Hilbert, K., y Soentgen, J. (2020). From the “Terra Preta de Indio” to the “Terra Preta do Gringo”: A history of knowledge of the Amazonian Dark Earths. In H. Juhani Mikkola (Ed.), *Ecosystem and biodiversity of Amazonia*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93354>
- Lee, J. W., Kidder, M., Evans, B. R., Paik, S., Buchanan III, A. C., Garten, C. T., y Brown, R. C. (2010). Characterization of biochars produced from cornstovers for soil amendment. *Environmental Science & Technology*, 44(20), 7970–7974. <https://doi.org/10.1021/es101337x>

- Lehmann, J. (2009). Terra preta. In R. Lal (Ed.), *Encyclopedia of soil science* (2nd ed., pp. 1–5). CRC Press. <https://doi.org/10.1081/e-ess3>
- Lehmann, J., y Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- Lehmann, J., Kern, D. C., Glaser, B., y Wodos, W. I. (2004). *Amazonian dark earths: Origin, properties, management*. Springer Science + Business Media. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2597-1>
- Levis, C., Peña-Claros, M., Clement, C. R., Costa, F. R. C., Alves, R. P., Ferreira, M. J., Figueiredo, C. G., y Bongers, F. (2020). Pre-Columbian soil fertilization and current management maintain food resource availability in old-growth Amazonian forests. *Plant and Soil*, 450(1-2), 29–48. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04461-z>
- Neves, E. G., Petersen, J. B., Bartone, R. N., y Heckenberger, M. J. (2004). The timing of Terra Preta formation in the central Amazon: Archaeological data from three sites. In B. Glaser y W. I. Woods (Eds.), *Amazonian dark earths: Explorations in space and time* (pp. 125–133). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-05683-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-05683-7_9)
- Nordenskiold, E. (1929). The American Indian as an inventor. *The Journal of the Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 59, 273. <https://doi.org/10.2307/2843888>
- Ortiz, H., Godoy-Rangel, C., y Ahumada-Lazo, R. (2025). From lectures to active learning: A case study on problem-based learning in the material balances course. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 1–22. <https://doi.org/10.1177/03064190251356618>
- Palace, M. W., McMichael, C. N. H., Braswell, B. H., Hagen, S. C., Bush, M. B., Neves, E., Tamanaha, E., Herrick, C., y Froliking, S. (2017). Ancient Amazonian populations left lasting impacts on forest structure. *Ecosphere*, 8(12), e02035. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2035>
- Peña-Venegas, C. P. (2016). Tras las prácticas ancestrales para la recuperación de suelos amazónicos. *Revista Colombiana Amazónica*, 9, 175–190. <https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/revista/pdf/9/9%20tras%20las%20prcticas%20ancestrales%20para%20la%20recuperacin%20de%20suelos%20amaznicos.pdf>
- Perez, R. L., y Teixeira, C. H. S. B. (2017). Case study: Active learning methodology approach in corrosion and science practices. *Research, Society and Development*, 4(3), 171–183.
- Pieraccioni, F., Finato, B., Bonaccorsi, E., y Gioncada, A. (2016). The soil in the classroom: A middle school case study. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 3(2), 149–157.
- Ponraj, M., Murugan, A., y Alagendran, S. (2024). The role of biochar in soil remediation and carbon sequestration, 12(2). <https://biochartoday.com/wp-content/uploads/2025/02/the-role-of-biochar-in-soil-remediation-and-carbon-sequestration.pdf>

Porlán, R. (1993). *Constructivismo y escuela: Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Díada.

Posey, D. A. (2000). Exploitation of biodiversity and indigenous knowledge in Latin America: Challenges to sovereignty and the old order. In C. Cavalcanti (Ed.), *The environment, sustainable development and public policies* (pp. 186–209). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781782541257.00019>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2024, agosto 1). Los conocimientos indígenas son cruciales para la lucha contra el cambio climático: He aquí el porqué. UNDP Climate Promise. <https://climatepromise.undp.org/es/news-and-stories/los-conocimientos-indigenas-son-cruciales-para-la-lucha-contra-el-cambio-climatico>

Qiu, M., Liu, L., Ling, Q., Cai, Y., Yu, S., Wang, S., Fu, D., y Hu, B., Wang, X. (2022). Biochar for the removal of contaminants from soil and water: A review. *Biochar*, 4(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00146-1>

Rodrigues, I. C. S., y Neves, P. A. P. F. G. (2021). Abordagem CTS/CTSA a partir de temas regionais da Amazônia: Una propuesta para el ensino de química, Ciências Exatas e da Terra e Engenharias. Atena Editora.

Schellekens, J., Almeida-Santos, T., Macedo, R. S., Buurman, P., Kuyper, T. W., y Vidal-Torrado, P. (2017). Molecular composition of several soil organic matter fractions from anthropogenic black soils (*Terra Preta de Índio*) in Amazonia—A pyrolysis-GC/MS study. *Geoderma*, 288, 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.001>

Schmidt, M. J., Goldberg, S. L., Heckenberger, M., Fausto, C., Franchetto, B., Watling, J., Lima, H., Moraes, B., Dorshow, W. B., Toney, J., Kuikuro, Y., Waura, K., Kuikuro, H., Kuikuro, T. W., Kuikuro, T., Kuikuro, Y., Kuikuro, A., Teixeira, W., Rocha, B., ... Perron, J. T. (2023). Intentional creation of carbon-rich dark earth soils in the Amazon. *Science Advances*, 9(38), eadh8499. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh8499>

Silva, L. C. R., Corrêa, R. S., Wright, J. L., Bomfim, B., Hendricks, L., Gavin, D. G., Muniz, A. W., Martins, G. C., Motta, A. C. V., Barbosa, J. Z., Melo, V. D. F., Young, S. D., Broadley, M. R., y Santos, R. V. (2021). A new hypothesis for the origin of Amazonian Dark Earths. *Nature Communications*, 12(1), 127. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20184-2>

Tengö, M., Brondizio, E. S., Elmquist, T., Malmer, P., y Spierenburg, M. (2014). Connecting diverse knowledge systems for enhanced ecosystem governance: The multiple evidence base approach. *Ambio*, 43(5), 579–591. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0501-3>

Tomczyk, A., Sokołowska, Z., y Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: Pyrolysis temperature and feedstock effects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(1), 191–215. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>

van Vliet, N., et al. (2012). Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment. *Global Environmental Change*, 22(2), 418–429. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.009>

Weil, R. R., y Brady, N. C. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.