



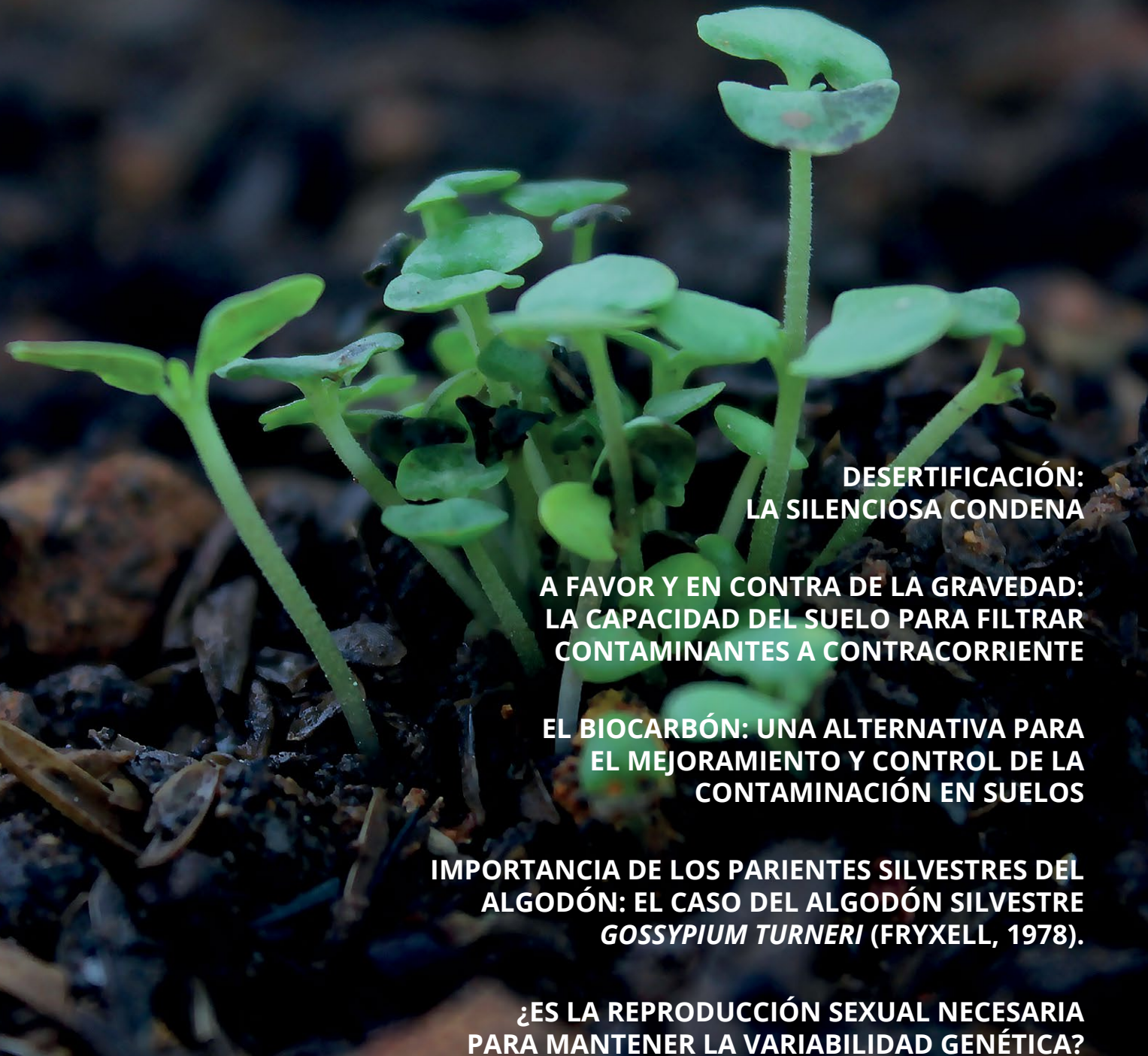
Año 18 | Número 38 | 31 de diciembre 2022 |

| Hermosillo, Sonora, México. |

NUESTRA TIERRA

Órgano de divulgación de la Estación

Regional del Noroeste, UNAM



**DESERTIFICACIÓN:
LA SILENCIOSA CONDENA**

**A FAVOR Y EN CONTRA DE LA GRAVEDAD:
LA CAPACIDAD DEL SUELO PARA FILTRAR
CONTAMINANTES A CONTRACORRIENTE**

**EL BIOCARBÓN: UNA ALTERNATIVA PARA
EL MEJORAMIENTO Y CONTROL DE LA
CONTAMINACIÓN EN SUELOS**

**IMPORTANCIA DE LOS PARIENTES SILVESTRES DEL
ALGODÓN: EL CASO DEL ALGODÓN SILVESTRE
GOSSYPIMUM TURNERI (FRYXELL, 1978).**

**¿ES LA REPRODUCCIÓN SEXUAL NECESARIA
PARA MANTENER LA VARIABILIDAD GENÉTICA?**

EDITORIAL

Estimados lectores, en nombre del equipo de trabajo de esta revista, nos es grato presentar el ejemplar No. 38 de "Nuestra Tierra", publicación que es órgano de divulgación de la Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.



En esta edición compartiremos temas muy interesantes relacionados con el suelo; desde enfoques que incluyen la concientización por la pérdida debido a la desertificación, la información sobre sus funciones como filtro de contaminantes, y el desarrollo y uso de materiales como el biocarbón para remediación y/o mejora de suelos. Abarcaremos también el tema de preservación de especies, en particular el algodón y concluiremos con el tema de variabilidad genética. Tal que, este número inicia con Marino-Maldonado que aborda al suelo, un elemento de la naturaleza destacable por su importancia ecosistémica e indispensable para el desarrollo de la mayoría de las especies del planeta. En su relato podremos conocer sobre la degradación y pérdida del suelo como uno de los problemas de deterioro ambiental más graves que deben ser afrontados actualmente.

Enseguida Munguía-Lara y colaboradoras nos presentan al suelo como un sistema capaz de retener y degradar contaminantes presentes en el agua que circula a través de él, a favor y en contra de la gravedad. Las autoras nos comparten lo destacable que es esta propiedad del suelo para actuar como un filtro natural.

En ese mismo sentido, dentro del tema suelo, Atilano-Camino y colaboradoras nos comparten un novedoso e interesante material rico en carbono y producido a partir de cualquier resto orgánico, denominado Biocarbón. Este material es empleado en suelos para mejorar sus propiedades y en consecuencia favorecer cultivos; incluso puede aplicarse para la remediación de suelos, eliminando contaminantes como los metales.

Después de esos escenarios, conoceremos la importancia de varios parientes silvestres del algodón cultivado que han sido poco estudiados y que se encuentran actualmente en peligro de extinción. Descubriremos, de la mano de Yescas-Romo y colaboradores, que entre las amenazas a los algodones silvestres se encuentran la deforestación y desmonte de vegetación para el desarrollo de campos agrícolas, el crecimiento urbano y el desarrollo turístico en su área natural de distribución que provoca la destrucción de su hábitat.

Hacia las últimas páginas de esta edición veremos la variabilidad genética como un factor que contribuye a la adaptación. Sastré-Velásquez y colaboradores nos enseñarán que cuanto más variación genética haya, más posibilidades de adaptación tendrán las especies. Aunque, todas las especies que habitan sobre la Tierra ocupan un nicho ecológico al cual se han adaptado, es decir, tienen estrategias de supervivencia.

Interesantes aspectos y temas desarrollados en este número, que nos enseñan lo importante y sorprendente que es nuestro planeta. De manera que sin más preámbulo y esperando que este número sea de su agrado, me despido en nombre del equipo de "Nuestra Tierra".

Dra. Aurora M. Pat Espadas
Editora en Jefe de Nuestra Tierra

DIRECTORIO UNAM

DR. ENRIQUE LUIS GRAUE WIECHERS
Rector

DR. LEONARDO LOMELÍ VARGAS
Secretario General

DR. LUIS AGUSTÍN ÁLVAREZ ICAZA LONGORIA
Secretario Administrativo

DR. WILLIAM HENRY LEE ALARDÍN
Coordinador de la Investigación Científica

DR. RICARDO BARRAGÁN MANZO
Director del Instituto de Geología

DR. THIERRY CALMUS
Jefe de la Estación Regional del Noroeste

DIRECTORIO DE NUESTRA TIERRA

No. de Reserva de Derechos al uso exclusivo del título 04-2004-050610455400-102
ISSN 1665-935X

DRA. AURORA M. PAT ESPADAS
Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM
Editora Responsable

DRA. CLARA L. TINOCO OJANGUREN
Estación Regional del Noroeste, Instituto de Ecología, UNAM

DRA. MA. CRISTINA PEÑALBA GARMENDIA
Depto. de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora

GEOL. ADRIANA AIMÉ ORCÍ ROMERO
Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM

DRA. BLANCA GONZÁLEZ MÉNDEZ
Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM

DRA. DENISSE ARCHUNDIA PERALTA
Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM

Editores Asociados
Para recibir esta revista vía internet escribir a:
nuestratierra@geologia.unam.mx

CONTENIDO

2 EDITORIAL

3 DESERTIFICACIÓN: LA SILENCIOSA CONDENA

7 A FAVOR Y EN CONTRA DE LA GRAVEDAD: LA CAPACIDAD DEL SUELO PARA FILTRAR CONTAMINANTES A CONTRACORRIENTE

10 EL BIOCARBÓN: UNA ALTERNATIVA PARA EL MEJORAMIENTO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN SUELOS

14 IMPORTANCIA DE LOS PARIENTES SILVESTRES DEL ALGODÓN: EL CASO DEL ALGODÓN SILVESTRE GOSSYPIUM TURNERI (FRYXELL, 1978).

16 ¿ES LA REPRODUCCIÓN SEXUAL NECESARIA PARA MANTENER LA VARIABILIDAD GENÉTICA?

Fotografía de portada: pexels-crushen-agus-hennihuno-1251026

Nuestra Tierra, Año 18, No. 38 (Diciembre de 2022), es una publicación semestral del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C. P. 04510, Ciudad de México. Estación Regional del Noroeste, av. Luis Donaldo Colosio s/n y Madrid, campus UniSon, Hermosillo, Sonora, C. P. 83000. Editor responsable: Dra. Aurora M. Pat Espadas. Número del Certificado de Reserva de Derechos al uso exclusivo del Título: 04-2004- 050610455400-102. ISSN 1665-935X. Número del Certificado de Licitud de Título y Contenido: en trámite. Diseño: Alejandra Bárcenas Martínez. Impresión: LABOPRINTEC DIGITAL SA DE CV. Tiraje: 100 ejemplares, impresión Offset con papel couché cover de 300 g para forros y couché text de 150 g para los interiores. El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja necesariamente el punto de vista de los editores asociados ni del editor en jefe. Se autoriza la reproducción de los artículos (no así de las imágenes) con la condición de citar la fuente y se respeten los derechos de autor.



@RNTERNOUNAM

@RNTERNO

DESERTIFICACIÓN: LA SILENCIOSA CONDENA

Bernardo Marino Maldonado¹

Gran Sierra Plegada, A.C. Director de Proyectos. Nuevo León, México

¹bernardo.marino@gmail.com



Figura 1. Uso de maquinaria pesada para la labranza del suelo. (Imagen del autor.)

Introducción

A lo largo de los últimos 50 años, la cuestión medioambiental como tema cultural ha ido desarrollándose y creciendo imparable. Sin embargo, hay temas dentro del discurso conservacionista predominante que desafortunadamente siguen sin recibir la necesaria atención, a pesar de su crucial importancia para el bienestar y sostenibilidad de las naciones.

Mucho se habla de la importancia de conservar bosques y selvas, arrecifes, ríos y lagos, biodiversidad y especies en peligro de extinción, pues afortunadamente hoy en día éstos son temas de relevancia en la cultura de la mayoría de las sociedades del mundo. Todo ello es importante y necesario; aún así, en muy pocas ocasiones se habla de un elemento de la naturaleza que es aún más importante que todo lo anterior, que es el suelo, por su importancia ecosistémica, lo indispensable que es para el desarrollo de la mayoría de las especies del planeta, y por el estado de degradación en que se encuentra.

La pérdida de los suelos

La degradación y pérdida del suelo es uno de los problemas de deterioro ambiental más graves que deben ser afrontados actualmente. Su importancia crítica resulta de que el suelo es (1) el medio indispensable para la agricultura y la ganadería, fuentes de subsistencia fundamentales para la humanidad, y (2) el elemento básico y necesario sobre el cual se estructuran y funcionan la totalidad de los ecosistemas terrestres (Figura 1), de los cuales provienen los recursos naturales y los servicios ambientales que la humanidad requiere para su supervivencia y desarrollo.

El suelo es un componente ecosistémico cambiante, resultado de complejos y prolongados procesos ambientales en los que participan factores físicos, químicos y biológicos a lo largo de amplios períodos de tiempo que abarcan de cientos a miles de años; el suelo es por lo tanto un recurso no renovable (en términos prácticos), pues el tiempo necesario para su renovación supera en magnitud a la escala de tiempo generacional de los humanos. Por lo tanto, se entiende que es de importancia prioritaria y crucial el preservarlo.

El suelo cultivable que utilizamos directamente se está perdiendo irreversiblemente de una forma constante y a una tasa cada vez mayor. Reportes

publicados en el 2021 estimaron que ya un tercio de los suelos del mundo están degradados, y que más del 80 % de los suelos cultivables presentan una degradación de moderada a severa (WWF, 2021). La tasa de pérdida del suelo por erosión antropogénica está ocurriendo de 100 a 1000 veces más rápido que la tasa de erosión natural, según reportes de la FAO publicados en el 2015.

Además de la pérdida irreparable de suelo cultivable, la degradación del suelo implica ulteriores consecuencias: puesto que el suelo es el segundo mayor sumidero de carbono del planeta (el primero es el océano), su pérdida libera a la atmósfera el carbono que contenía en sí mismo, intensificando el fenómeno del calentamiento global.

Las causas de la pérdida de suelo

En general el factor principal del deterioro de este recurso es la agricultura industrial, cuyos métodos y técnicas de producción son esencialmente insostenibles.

Debido al uso de maquinaria pesada para la labranza del suelo, al empleo intensivo de agroquímicos sintéticos para fertilización y manejo

y control de plagas y enfermedades, y al modelo de producción de monocultivos predominante, así como la aplicación de técnicas de irrigación ineficientes, se genera en consecuencia toda una amplia gama de graves impactos negativos directos e indirectos, a corto, mediano y largo plazo, sobre el suelo y muchos otros elementos del medio ambiente.

La degradación de los suelos puede presentarse de cuatro formas distintas, ya sea de manera aislada ó conjunta: como erosión (de tipo hídrica ó eólica), como degradación física (compactación, encostramiento y sellado), como degradación química (contaminación por sustancias tóxicas, salinización, pérdida de fertilidad), y como degradación biológica (disminución o pérdida de la materia orgánica y de las formas de vida contenidas en el suelo).

La desertificación en México

La desertificación es el nombre que se le da a un proceso propio de regiones semiáridas, áridas y subhúmedas (las cuales abarcan casi el 50% de la superficie de los continentes) y que tiene como consecuencia central la degradación y pérdida del suelo (Figura 2). El término fue introducido desde el siglo pasado por investigadores que analizaron la disminución en productividad de territorios agrícolas y ganaderos en zonas áridas en el continente africano, fenómeno disparado por prácticas inadecuadas de manejo de la tierra.

Actualmente la desertificación como concepto se ha ampliado, abarcando cualquier ecosistema que sufra la reducción persistente de su capacidad para proporcionar servicios ambientales a largo plazo independientemente de la región climática a la que pertenezca. En este artículo nos centraremos en las regiones semiáridas y subhúmedas, por ser éstas las condiciones predominantes en el noreste de México.

Precisamente, en México el problema de la desertificación es grave, siendo que el territorio nacional susceptible de verse afectado por este fenómeno abarca los 101.5 millones



Figura 2. Aspecto de un territorio desertificado. (Imagen del autor.)

de hectáreas, alcanzando poco más de la mitad del país. De esta cantidad, se estima que 43.56 millones de ha, o bien el 43%, se encuentran en proceso de desertificación ó ya desertificados.

Ecológicamente, las regiones áridas y semiáridas son intrínsecamente frágiles en comparación con biomas templados, lo que hace a la desertificación una amenaza sumamente grave, rompiendo el delicado equilibrio que hace funcionales a estos territorios desde los puntos de vista ecológico y socioeconómico.

Sin suelo no hay agua

En los estados del noreste mexicano, el manejo del agua como recurso es un tema de importancia prioritaria que se enfrenta a retos difíciles debido a las condiciones climáticas semiáridas del territorio, además de la creciente demanda por parte de la intensa actividad industrial y el crecimiento poblacional. Para el caso de Monterrey y su zona metropolitana, la Sierra Madre Oriental es la principal fuente de abastecimiento de agua: en su territorio se encuentran tanto las cuencas hidrográficas que proporcionan el agua superficial con que se abastecen las presas, como los acuíferos que constituyen las principales fuentes subterráneas de agua.

Un adecuado manejo del recurso hídrico implica en principio el adecuado manejo de las cuencas hidrográficas que constituyen el fundamento de soporte del mismo. De entre los distintos componentes que integran a una cuenca, son el suelo y la vegetación aquellos cuya conservación es esencial para el funcionamiento óptimo de la cuenca como captadora de agua.

El suelo es el soporte biofísico indispensable para el establecimiento de la vegetación (Figuras 3 y 4); es así mismo el medio a través del cual el agua de lluvia se infiltra y se retiene temporalmente, para luego ser aportada a la recarga de acuíferos, ó bien para ser liberada como flujo superficial en un momento determinado. La vegetación por su parte juega un papel fundamental en estos procesos, al constituir ante todo un elemento protector para el suelo frente a los agentes de erosión hídricos y eólicos: su follaje y la hojarasca interceptan las gotas de precipitación, amortiguando por un lado su fuerza de impacto y disminuyendo así la erosividad de la lluvia, y regulando por otro lado el tiempo de formación de escorrentía sobre la superficie del suelo, lo que aumenta el tiempo disponible para que ocurra infiltración. Además, la materia orgánica que la vegetación aporta al suelo al descomponerse, contribuye al proceso de estructuración de un suelo sano.

Comprendido lo anterior, podemos entender por qué la desertificación es una amenaza ante todo para la disponibilidad de agua dulce.

La situación en el noreste de México

Un estudio del 2002 demostró que en el transcurso de los años 1975 a 1995, la vegetación primaria en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (dentro de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León), se redujo en 6,858 ha para los bosques templados y en 7,457 ha para los matorrales; la vegetación secundaria se incrementó en 7,063 ha, y los suelos desnudos, totalmente degradados, se incrementaron en 5,458 ha. Estos cambios tuvieron como consecuencia un aumento del escurrimiento superficial, disminuyendo la tasa de infiltración del agua, acelerando la tasa de erosión de los suelos, incrementando la magnitud de arrastre de sedimentos y el volumen de las avenidas súbitas en arroyos y ríos, problema recurrente y de histórica importancia para Monterrey y su área metropolitana.

En el 2011 se estimaba que, dentro de esa misma región, existía una superficie de 4,237 ha con problemas evidentes de erosión y pérdida de suelo, y que más de 56 mil ha eran susceptibles a la erosión. Reportes más recientes reiteran la magnitud y persistencia de la problemática.

En el noreste de México las causas principales que ocasionan la desertificación son el sobrepastoreo con ganado bovino y caprino, los incendios forestales causados por el humano, la sobreexplotación forestal, el uso agrícola intensivo y desbalanceado de zonas no aptas para ello, y la transformación y eliminación de ecosistemas por cambio de uso de suelo.

Como ejemplo reciente, en los años 2021 y 2022 se registraron incendios provocados por el humano en la Sierra Madre Oriental en Nuevo León y Coahuila, afectándose más de 20 mil hectáreas de bosques y matorrales, perdiéndose ó mermándose seriamente su funcionalidad dentro del ciclo hidrológico (Figura 5). Lamentablemente, no han sido distanciados entre sí los años en que han ocurrido incendios forestales en la región. A medida que la actividad turística en áreas naturales se incrementa concordantemente con el incremento poblacional de Monterrey y su área metropolitana, el riesgo de este tipo de accidentes seguirá en aumento.

El crecimiento urbano de ciudades como Monterrey y su área metropolitana impulsa el cambio de uso de suelo de forma indiscriminada y desordenada, reduciendo progresivamente el territorio hidrológicamente funcional de las cuencas hidrográficas. Sin un ordenamiento territorial adecuado y políticas públicas concordantes y congruentes con un modelo de desarrollo urbano sostenible, esta problemática seguirá avanzando, intensificando el estrés hídrico de la región.

Un problema de menor magnitud en comparación a los mencionados es el sobrepastoreo, tema de importancia local en gran parte de los territorios rurales del noreste, donde la ganadería extensiva representa una fundamental actividad económica para los pobladores. Sin esquemas de manejo adecuados que regulen la sobreexplotación de los agostaderos, se sobrepasa la capacidad de carga (la cantidad de ganado que un territorio puede sustentar sin presentarse daños al mismo) de las tierras de pastoreo, de lo que resultan afectaciones como la compactación del suelo, la pérdida de la renovación vegetal, y el aumento de la susceptibilidad del suelo a la erosión. En muchos de estos territorios están establecidos pastizales naturales, ambientes de relevante importancia ecológica para la conservación de especies amenazadas ó en peligro de extinción; el sobrepastoreo, desde luego, es, junto con la expansión de la frontera agrícola, la causa principal de transformación de estos ecosistemas.

Otra problemática de consideración es el avance de la transformación de zonas semiáridas y áridas en áreas agrícolas basadas en el modelo industrial y para cultivos no aptos a estas zonas climáticas (Figura 6). Debido a esto y a la ausencia de fuentes de agua superficiales en estas zonas, su uso implica la



Figura 3. Un suelo sano nos proporciona alimento. (Imagen del autor.)

construcción de sistemas de irrigación y bombeo de agua, sin tomar en cuenta la naturaleza frágil y la capacidad de carga de los suelos de zonas áridas y semiáridas, no aptos para la escala de producción que se exige de ellos. Vemos ejemplos de esta situación en lugares como el Valle El Hundido y el Valle de Cuatro Ciénegas, en Coahuila, zonas de crítica importancia ecológica que de forma incongruente y sin posibilidades de sostenibilidad a largo plazo han sido transformadas para la producción intensiva de cultivos altamente demandantes de agua, como es la alfalfa.

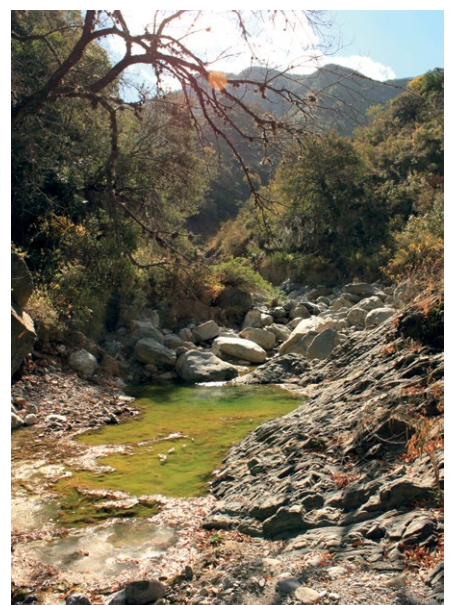


Figura 4. Las cuencas necesitan suelos y vegetación sanos para producir agua. (Imagen del autor.)

El aspecto socioeconómico de la desertificación

En gran parte de las ocasiones, esta transformación de una zona semiárida en área de cultivo industrial propicia la conversión de las comunidades asociadas, impulsando un desarrollo poblacional con la consecuente demanda de recursos. La inversión inicial en infraestructura de irrigación conduce a ganancias a corto plazo que impulsan el uso intensivo del territorio. En áreas con recursos limitados y regímenes de precipitación variables, esto puede llevar a comunidades enteras a un estado de pobreza, el cual induce a la búsqueda de productividad a corto plazo, favoreciendo el ciclo repetitivo de sobreexplotación del suelo (Verstraete *et al.*, 2009).

El problema fundamental detrás del sobrepastoreo y la agricultura insostenible viene de impulsores socioeconómicos que fomentan malas prácticas de manejo de la tierra. Estos impulsores son, por un lado, el desarrollo de políticas de tenencia de la tierra que inducen la sobreexplotación, y por otro lado, la ausencia de protección a los usuarios de la tierra ante (1) la demanda de ganancias a corto plazo sin incentivos a la preservación a largo plazo de la sostenibilidad de los recursos territoriales; (2) el riesgo ante la fluctuación de precios en el mercado global; y (3) la pérdida de resiliencia debido a la ausencia en diversidad de actividades y productos económicos (Herrmann y Hutchinson, 2005).

Con el tiempo, las consecuencias del uso intensivo del suelo alcanzan a estas zonas y a sus pobladores, ocasionando una declinación de la productividad agrícola por la progresiva disminución de la fertilidad del suelo, un déficit de los ingresos económicos y de la eficiencia del mercado; sobreviene entonces el aumento de la migración de la población rural hacia las ciudades por el aumento en las tasas de desempleo, y el abandono de las tierras que antes se mantenían estables con una actividad económica menos redituable, pero sostenible.

¿Qué hacer al respecto?

Si bien la desertificación es considerada una transición irreversible, existen medidas que pueden revertir el proceso antes de que el sistema alcance el estado estable desertificado. Por mencionar algunas: obras para el control de erosión del suelo; remediación de la salinización del suelo; restauración de la cobertura vegetal; manejo sostenible de la ganadería; prácticas agrícolas para la conservación del suelo; uso de policultivos incluyendo variedades adaptadas a zonas áridas; mejoría de los sistemas de irrigación; introducción de nueva tecnología de uso de agua e irrigación.

Sin embargo, afrontar de raíz el problema requiere aplicar esquemas adecuados de ocupación y transformación territorial basados en criterios de congruencia ambiental y socioeconómica con el fin de frenar y reorientar las trayectorias existentes de degradación del territorio. Hasta no lograr un cambio de paradigmas en el uso de la tierra, de poca utilidad a largo plazo



Figura 5. Áreas afectadas por incendio forestal. (Imagen del autor.)

serán todas las demás acciones. En esto, los científicos agrícolas y del suelo, y las instituciones académicas de investigación en recursos naturales, tienen la responsabilidad de divulgar las prácticas adecuadas de manejo de la tierra, y abogar por su implementación en el uso de los recursos naturales de nuestra nación.

Finalmente, es obligación de cada ciudadano estar informado adecuadamente para ser un consumidor responsable, y para ser partícipe en las políticas locales, estatales y nacionales para exigir mejores prácticas de aprovechamiento de los recursos naturales de cuya conservación y uso racional depende nuestro bienestar colectivo.

Referencias

- Herrmann S.M., Hutchinson C.F. 2005. The changing contexts of the desertification debate. *Journal of Arid Environments* (63) 538-55
- Verstraete M.M., Scholes R.J., Stafford D.M. 2009. Climate and desertification: looking at an old problem through new lenses. *Front Ecol Environ* 7: 421-8.
- WWF. 2021. Bringing It Down To Earth: Nature Risk and Agriculture. Disponible en: https://wwf.panda.org/wwf_news/?2660466/nature-finance-risk-and-agriculture



Figura 6. Cultivo de alfalfa en una zona semiárida. (Imagen del autor.)

A FAVOR Y EN CONTRA DE LA GRAVEDAD: LA CAPACIDAD DEL SUELO PARA FILTRAR CONTAMINANTES A CONTRACORRIENTE

Abril Isamar Munguia-Lara*, **Jeanny Lucero Hernández-Martínez** y **Nadia Valentina Martínez-Villegas**

IPICYT, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, División de Geociencias Aplicadas, Camino a la Presa San José No. 2055, Col. Lomas 4ª Secc. 78216, San Luis Potosí, SLP, México.

*abril.munguia@ipicyt.edu.mx

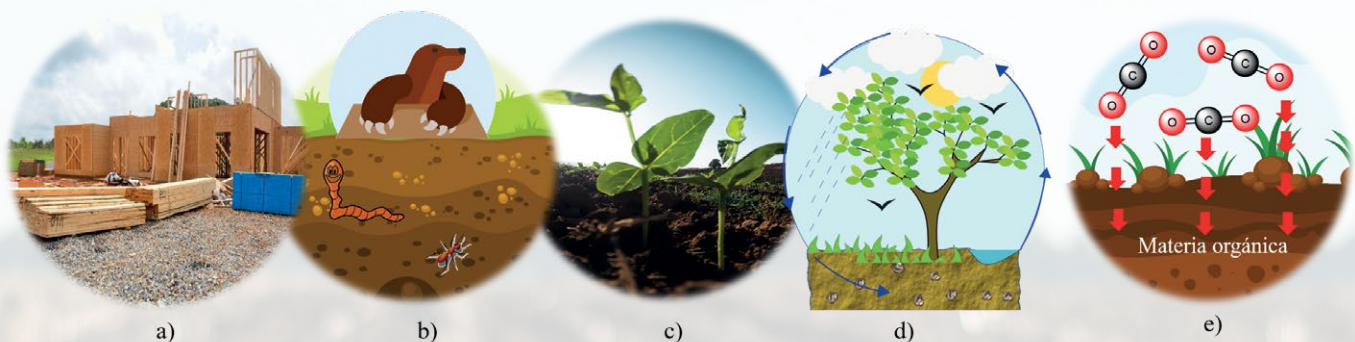


Figura 1. Funciones que desempeña el suelo en nuestro planeta: es un medio en donde construimos nuestras aldeas, pueblos y/o ciudades (a), el hogar de diversos organismos vivos (b), el medio donde crecen las plantas (c), un regulador del ciclo hidrológico (d) y un amortiguador de contaminantes (e). (Imágenes de uso libre tomadas de Pexels.com.)

Introducción

El suelo es un sistema natural que interactúa con otros compartimientos del planeta (atmósfera, biósfera, litósfera e hidrósfera) con los que intercambia gases, agua, materia y energía. Juega un papel preponderante como promotor de procesos bio-físico-químicos, al descomponer materiales de desecho y reciclar nutrientes para la continua regeneración de la vida en la Tierra. Esto hace que el suelo desempeñe diversas funciones en nuestro planeta entre las que se encuentran la de ser un filtro natural de contaminantes y un regulador del ciclo hidrológico (Weil y Brady, 2017) (Figura 1). En este trabajo se presenta al suelo como un sistema capaz de retener y degradar contaminantes presentes en el agua que circula a través de él, a favor y en contra de la gravedad.

El suelo posee poros mediante los cuales el agua de lluvia o de riego se infiltra. Pero para imaginarnos esto transportémonos a una visita al mercado en donde nos encontramos con un cajón de naranjas en donde el vendedor las acomoda en forma de pirámide: apilando unas naranjas sobre otras, generando espacios huecos (poros) entre ellas. En este mismo sentido, pensemos ahora en el suelo como una pirámide de naranjas, en la que cada naranja representa una partícula sólida de suelo y los espacios vacíos que existen entre las naranjas representan los poros de éste. Ahora ¿qué te parece si en tu próxima visita al supermercado observas los diferentes cajones de fruta y descubres cómo varía el tamaño de los espacios vacíos entre diferentes tipos de frutas (Figura 2)? Observarás que, entre más grande sea la fruta, más grande será el tamaño de los espacios vacíos entre ellas. Podemos inclusive observar cómo en el cajón donde se encuentran las moras los espacios vacíos son, al igual que esa fruta, muy pequeños, mientras que,

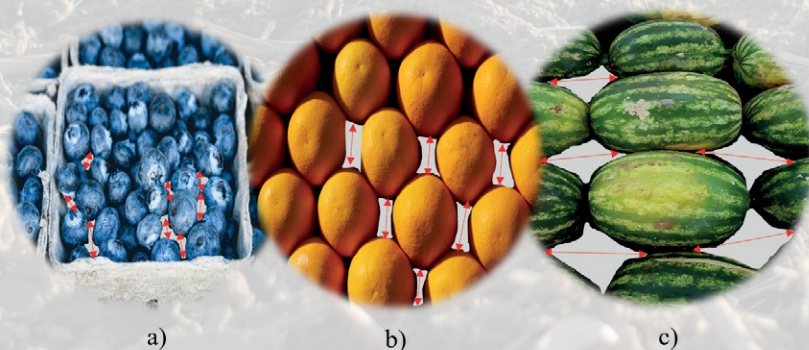


Figura 2. Variación del tamaño de poro en función del tamaño de frutas: los poros pequeños resultan los espacios que se forman entre frutas pequeñas (a), los poros de tamaño mediano, resultan de los espacios que se forman entre frutas medianas (b) y los poros de tamaño grande resultan de los espacios que se forman entre frutas grandes (c). Las flechas rojas indican el largo de los poros. (Imágenes de uso libre tomadas de Pexels.com.)

si observamos en el cajón de las sandías, dichos espacios vacíos serán más grandes. Ahora, si hicieras una columna con moras y una con sandías y te pidiéramos que le agregaras 5 litros de agua a cada columna y que además lo hicieras desde la parte superior ¿en cuál columna crees que se movería más rápido el agua? ¡En efecto! La respuesta correcta es: ¡en la columna de sandías!, ya que los espacios vacíos son más grandes y permiten que el agua pase más rápidamente a través de ellas. Bueno, pues algo semejante ocurre con el suelo, sólo que en él existen partículas de diferente tamaño (arenas 2.00-0.05 mm, limos 0.05-0.002 mm y arcillas <0.002 mm), lo que lo hace un sistema mucho más complejo. Lo anterior trae como consecuencia que debido a la distribución irregular del tamaño de las partículas del suelo se formen espacios vacíos de diferente tamaño (Figura 3a). Esos espacios vacíos en el suelo es lo que se denomina porosidad y dicha porosidad tiene un impacto en la velocidad en la que el agua circula a través del suelo. Por supuesto, para que el agua pueda moverse a través del suelo es necesario que los poros se encuentren conectados unos con otros para poder formar caminos por donde el agua pueda circular (Figura 3b).

Función del suelo como filtro natural

Interesantemente, una vez que el agua de lluvia o de riego se infiltra a través de los poros del suelo es utilizada por las plantas. En su defecto, se infiltra a una mayor profundidad para convertirse en agua subterránea. Al entrar en contacto con los diversos componentes sólidos del suelo, como materia orgánica y minerales, el agua es filtrada. Lo anterior ocurre porque dichos componentes tienen la capacidad de retener o degradar a los contaminantes, a través de procesos conocidos como disolución y/o precipitación de minerales, descomposición y/o disolución de materia orgánica, sorción y desorción de iones e intercambio iónico, entre otros (Keesstra *et al.*, 2012).

Así las cosas, la combinación de materia orgánica, microorganismos,

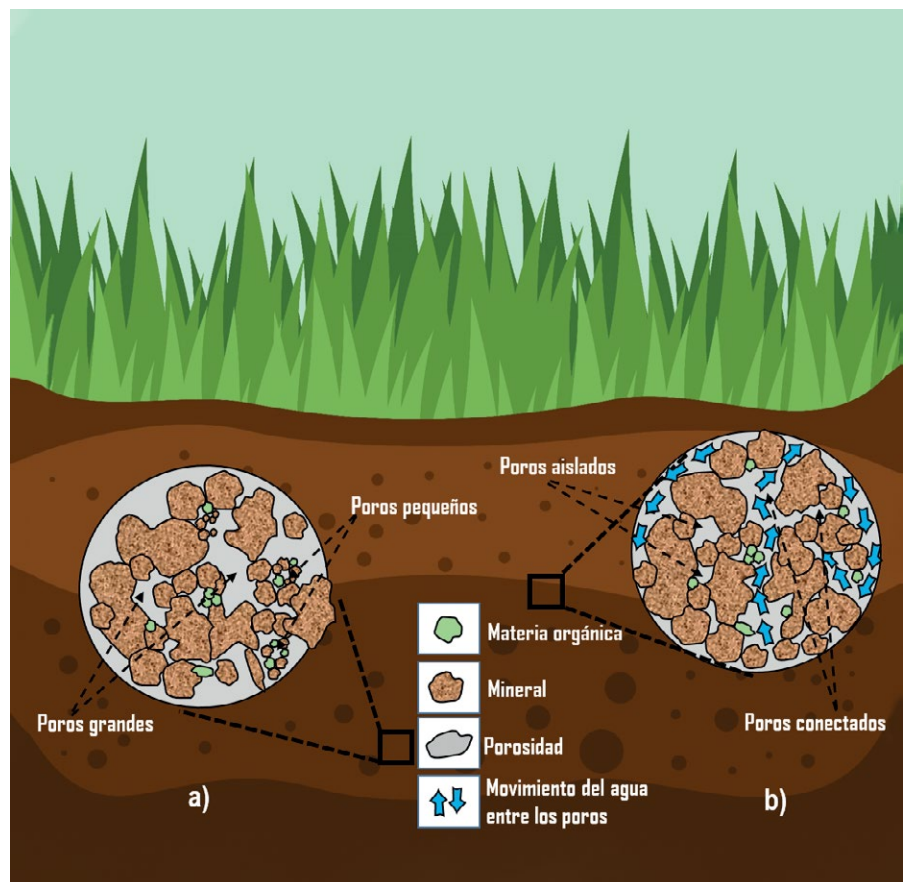


Figura 3. Acercamiento de las partículas y los poros del suelo de varios tamaños (a). Poros del suelo aislados y conectados (b). Los últimos permiten que el agua pueda circular a través de ellos. (Imagen original producida por la autora.)

minerales y poros hacen del suelo un filtro natural que retiene y/o degrada tanto compuestos de origen natural que pudiera traer el agua, como contaminantes presentes en el agua que se infiltra. Esta característica tan peculiar e importante del suelo ha sido utilizada desde la antigüedad para crear filtros purificadores de agua con el propósito de potabilizarla y prevenir enfermedades.

Hasta el momento hemos planteado el escenario donde el agua entra y se mueve a través del suelo, desde la superficie del suelo hasta los mantos freáticos, a través de los caminos que forma la porosidad, debido a la fuerza de gravedad. Sin embargo, ¿sabías que el agua también puede moverse a través del suelo de abajo hacia arriba? Pero ¿cómo es que sucede esto? Ahora mismo, lo vamos a ver.

El agua puede moverse por capilaridad, de abajo hacia arriba, a través de los poros del suelo. Pero ¿qué es la capilaridad? Es un fenómeno físico a través del cual los líquidos suben (en contra de la fuerza de gravedad) por fuerzas de cohesión y adhesión a través de enlaces conocidos como puentes de hidrógeno. Las fuerzas de cohesión ocurren entre moléculas de agua (Figura 4a), mientras que las fuerzas de adhesión ocurren entre las moléculas de agua y la superficie de contacto (Figura 4b). El fenómeno de la capilaridad fue inicialmente observado en tubos estrechos de vidrio, también denominados tubos capilares, parcialmente inmersos en un líquido, donde el líquido ascendía dentro del tubo capilar. A la fecha se sabe que la altura del ascenso capilar es inversamente proporcional al diámetro del tubo (Figura 4c). Es decir, en tubos con menor diámetro el ascenso capilar es mayor, mientras que en tubos con mayor diámetro el ascenso capilar es menor. Dicho fenómeno puede observarse también en el suelo, donde el espacio formado entre las partículas del suelo, propiamente llamado porosidad, emula tubos capilares por los que las moléculas de agua ascienden a través de los poros del suelo por fuerzas de cohesión y adhesión

(Figura 4d). Pero, ¿cuáles son las condiciones para que la capilaridad ocurra en el suelo? Que exista un acuífero en contacto con un suelo con poros conectados. También, que el tamaño de los poros se encuentre en un rango que permita que el agua pueda subir por capilaridad, tamaño que podría estar entre los 0.05 y 0.30 cm, de acuerdo a los reportes del fenómeno de capilaridad observados en tubos capilares.

La función del suelo como filtro de contaminantes ha sido reconocida mundial e históricamente. Tan es así, que hoy en día existe gran cantidad de información al respecto. En general, dicha capacidad de filtración de contaminantes se atribuye a la infiltración del agua y a los procesos químicos que ocurren en el suelo, pero muy pocas veces a la capilaridad, es decir al movimiento del agua de abajo hacia arriba (Figura 5). Un ejemplo de la atenuación de contaminantes en el agua derivado de la capilaridad ocurre en Matehuala en el Estado de San Luis Potosí, México. En dicho sitio se ha reportado la atenuación natural de arsénico, el cual es un elemento químico tóxico para el ser humano que es removido del agua para almacenarse en el suelo (Martínez-Villegas *et al*, 2019). En Matehuala, dicho proceso ocurre naturalmente mediante la capilaridad de agua contaminada con arsénico, donde el arsénico es retenido e inmovilizado. En pocas palabras, filtrado.

Conclusiones

El suelo es un espacio poroso, con diferentes tamaños de poro, que permiten que el agua se infiltre por acción de la gravedad permitiendo la retención de contaminantes. Pero cuando los poros son lo suficientemente pequeños (entre 0.05 y 0.30 cm) y se encuentran conectados sobre un acuífero, se promueve la capilaridad o movimiento del agua en contra de la fuerza de gravedad. La capilaridad puede también contribuir a la filtración de contaminantes, sustrayendo agua contaminada de los acuíferos para ponerla en contacto con las fases sólidas del suelo, donde los contaminantes pueden ser retenidos

e inmovilizados por los procesos químicos y biológicos mencionados arriba. En este sentido, la capilaridad puede servir para el manejo y la remediación de acuíferos contaminados o para explicar procesos de atenuación natural.

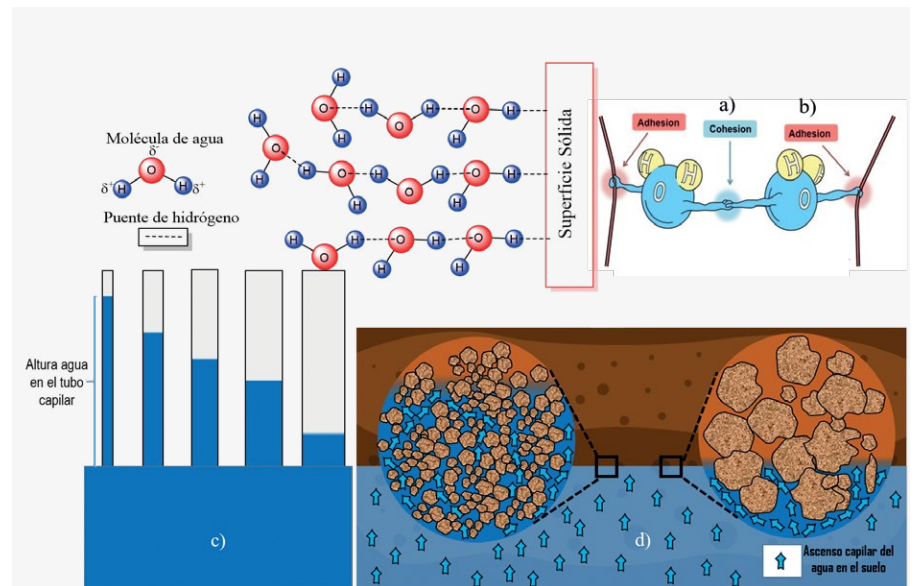


Figura 4. Representación del fenómeno físico de la capilaridad originado por la combinación de fuerzas de cohesión (que ocurren entre moléculas de agua) (a) y fuerzas de adhesión (que ocurren entre las moléculas de agua y las superficies sólidas) (b). Ambas fuerzas se generan a través de enlaces conocidos como puentes de hidrógeno. El fenómeno físico de la capilaridad en función del diámetro capilar: a mayor diámetro, menor altura del agua (c). El fenómeno físico de la capilaridad en el suelo, donde se observa que el agua sube a través de los poros conectados del suelo, por medio de la combinación de fuerzas de adhesión y cohesión (d). (Imagen original producida por la autora.)

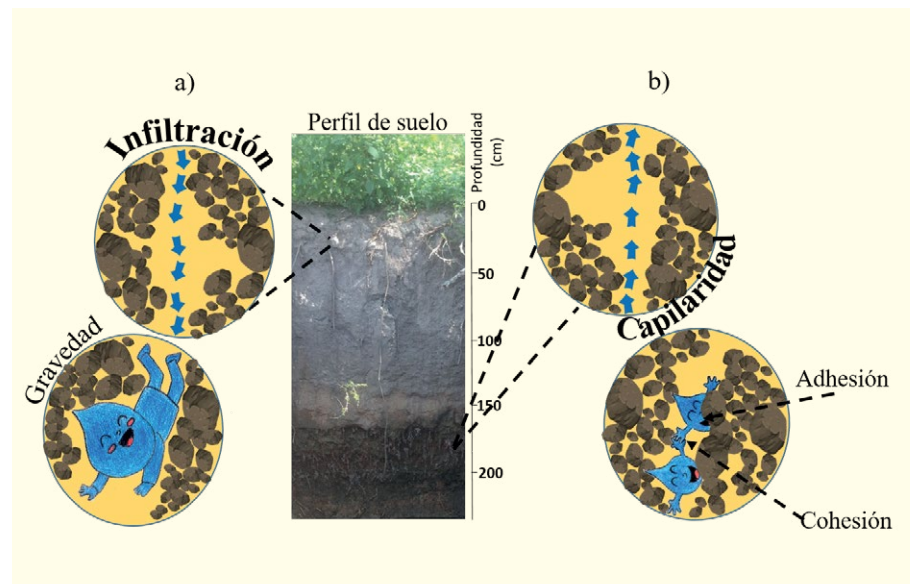


Figura 5. En un perfil de suelo, el agua se mueve de (a) arriba hacia abajo por acción de la fuerza de gravedad (infiltración) y (b) de abajo hacia arriba por las fuerzas de cohesión y adhesión (capilaridad). (Imagen original producida por la autora.)

Referencias

Keesstra, S. D., Geissen, V., Mosse, K., et al., 2012, Soil as a filter for groundwater quality. Current Opinion in Environmental Sustainability, 4(5), 507-516.
 Martínez-Villegas, N. Del Pilar Gómez, A. Zamora-Morales, A. et al. 2019, B. E3S Web Conf. 98.
 Weil, R.R. Brady, N.C., 2017, The soils around us, en Weil, R.R., Brady, N.C. (eds): The Nature and Properties of Soils. England: UK, Pearson Education, 15th edition, 19-50.

EL BIOCARBÓN: UNA ALTERNATIVA PARA EL MEJORAMIENTO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN SUELOS

Marina M. Atilano Camino¹, Ana P. Canizales Laborin², Angelita M. Ortega Juarez², Ana K. Valenzuela Cantú², Aurora M. Pat Espadas^{3*}

¹Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Luis Donaldo Colosio y Madrid s/n, Col. Centro, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000.

²Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, División de Ingeniería, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas, Col. Centro, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000.

³CONACYT-Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Luis Donaldo Colosio y Madrid s/n, Col. Centro, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000.

*apespadas@geologia.unam.mx

Introducción

Alrededor de los años 1870-1885 en la Amazonia brasileña, una tierra negra, rica en nutrientes y fértil, denominada "Terra Preta", llamó notablemente la atención. Estudios posteriores revelaron un alto contenido de carbón en esas tierras, alrededor de 5 a 7.5 veces más gramos de carbono por kilogramo de suelo, por lo que este fue asociado a su efecto como promotor de cultivos.

Aunque no es claro el origen de esas tierras, hay varias teorías o explicaciones que incluyen fenómenos naturales y actividades humanas de los pobladores de esa zona; por ejemplo, el desecho de materiales orgánicos, restos de plantas y/o animales, la ocurrencia de incendios naturales o inducidos por prácticas agrícolas, entre otros. Lo que es claro es que varios factores influyeron en la formación de dicho suelo con alto contenido de carbono y nutrientes.

De esta observación de la naturaleza, y su efecto, surgió el biocarbón o biochar (del inglés bio- y charcoal) un material producido a partir de cualquier resto orgánico, por lo que es un producto rico en carbono orgánico. Se obtiene de la descomposición térmica de biomasa en ausencia de oxígeno (proceso que recibe el nombre de pirólisis) a temperaturas generalmente entre 400 y 700 °C. Durante este proceso, además del biocarbón, y dependiendo de las condiciones de temperatura, se obtienen combustibles que son fuente de energía como el bio-aceite (aceite de pirólisis que puede ser usado para la producción de gasolina verde) y gas de síntesis (syngas, conformado por hidrógeno y monóxido de carbono). Por ello, se puede considerar un proceso de conversión de residuos a recursos, si pensamos en emplear desechos como la cáscara de nuez, plantas u hojas secas, paja de trigo, desechos ganaderos como estiércol de porcinos, etc. (Figura 1).

El biocarbón, que inicialmente se pensó para efectos positivos en cultivos, progresó hacia aplicaciones ambientales como la eliminación de metales es decir la remediación de suelos contaminados. Además, debido a la estabilidad del carbono contenido en el biocarbón, al ser aplicado en los suelos se puede evitar que vuelva a emitirse en forma de CO₂ y por lo tanto desempeña un papel de sumidero al "secuestrar" carbono; dicho de otra manera, el biocarbón contiene carbono orgánico que no se degrada en muchos años, por lo que, al ser adicionado en el suelo, genera un efecto positivo al restar emisiones de CO₂ a la atmósfera.



Figura 1. Materia prima lignocelulósica transformada a biocarbón. (Imagen de los autores.)

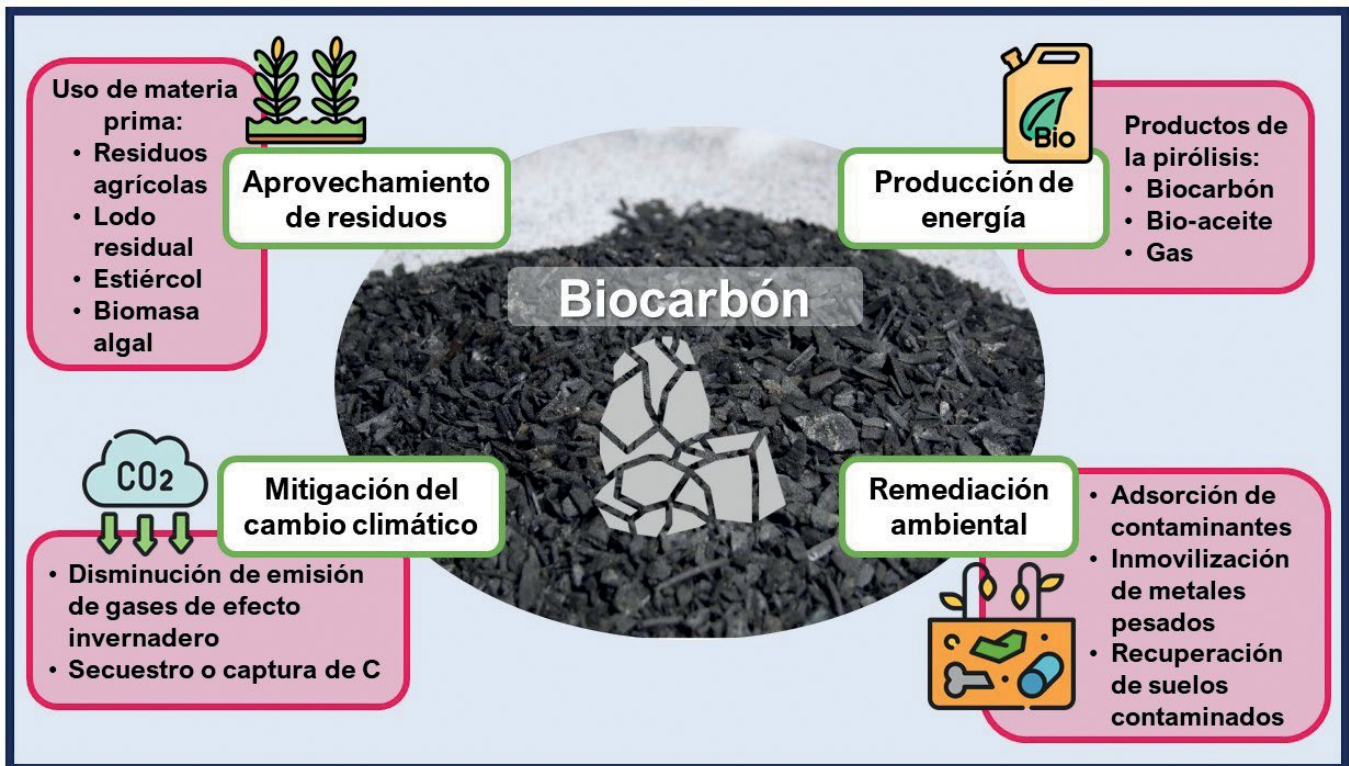


Figura 2. Usos del biocarbón enfocados a la remediación del medio ambiente. (Imagen de los autores.)

De tal modo que la producción y el uso del biocarbón permiten: (a) mejoramiento de suelos, (b) aprovechamiento de residuos, (c) mitigación del cambio climático, (d) producción de energía y podríamos sumar (e) remediación ambiental (Figura 2). En este artículo hablaremos sobre dos de ellos: el uso de biocarbón en suelos para mejorar cultivos y su uso para remediación de suelos contaminados con metales.

Uso del biocarbón para mejorar suelos para cultivos

Este aspecto es quizás el primero que ha sido explorado y el más evidente de notar. Diversos estudios publicados a la fecha, hablan sobre los beneficios del biocarbón en los suelos y cultivos, pero ¿cuáles son las características que le permiten generar esta respuesta benéfica? Como se ha mencionado, el biocarbón tiene un gran contenido de carbono (70-90%), pero además de eso, contiene nitrógeno, fósforo y potasio que son nutrientes para las plantas, estos nutrientes llegan al suelo ya sea directamente por desprendimientos de componentes del biocarbón, por algún tipo de intercambio entre los compuestos del suelo y del biocarbón, entre otros. El biocarbón es un biomaterial que al provenir de diferentes tipos de materias primas (biomasa), y sufrir cambios en su proceso de producción (principalmente cambios de temperatura) adquiere diferentes propiedades químicas y físicas. Entre estas propiedades del biocarbón están el pH (generalmente neutro a ligeramente alcalino), el área superficial específica (propiedad de los materiales que permite relacionar área por unidad de masa), la porosidad, la composición química, la capacidad de intercambio de nutrientes (medida usada para conocer la cantidad de nutrientes que puede retener o liberar el biocarbón, esto en relación a los cationes que existen en la superficie de éste) y el contenido disponible de nutrientes, las cuales tienen una influencia en el mejoramiento del suelo.

Destacando algunas de las propiedades del biocarbón para mejorar el suelo, se considera que su pH es alcalino ($\text{pH} > 7$) lo que ayuda a aumentar el pH en suelos que son ácidos y poco productivos. Por otro lado, la disponibilidad de minerales de fósforo, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y silicio que

contiene el biocarbón son nutrientes que le adiciona al suelo, y pueden ser aprovechados por los cultivos. También se sabe que es un material ampliamente poroso y de gran área superficial, lo que permite que los nutrientes y minerales del suelo puedan ser retenidos (o sorbidos) sobre o dentro del biocarbón, dando como resultado un incremento en la cantidad de nutrientes en el suelo (Abhishek *et al.*, 2022).



Tabla 1. Aplicación del biocarbón para la mejora de cultivos. (Fuente: Abhishek *et al.*, 2022.)

FUENTE DEL BIOCARBÓN	TIPO DE CULTIVO	DOSIS DE APLICACIÓN DEL BIOCARBÓN	RESPUESTA OBSERVADA	LOCALIZACIÓN
Madera	Cebada	1.8 t/ha	Incremento en el rendimiento de grano	Reino Unido
Lodo residual	Trigo	2-4% w/w	Incremento en el rendimiento de grano	China
Cáscara de coco	Maíz y huaje	10 t/ha	Incremento en la biomasa del 75%	Canadá
Paja del maíz	Maíz	12 t/ha	Incremento en el rendimiento de grano	China
Cascarilla de arroz	Trigo y maíz	1-5% w/w	Incremento en el rendimiento de grano del 36-39%	República de Corea
Madera	Trigo	5% w/w	Incremento en el rendimiento de grano	Dinamarca
Paja de algodón	Algodón	1-3% w/w	Incremento en la longitud de la raíz, y rendimiento del algodón	China
Madera de mango	Maíz	8-16 t/ha	Incremento en el rendimiento de grano del 22%	Estados Unidos

El primer ejemplo de experimentación para documentar el efecto del biocarbón en cultivos se llevó a cabo por un equipo de australianos, en un cultivo de aguacate durante 4 años, empleando dosis distintas de biocarbón (5%, 10%, 20%), pero mismas condiciones de riego y fertilizantes. Después de 18 meses, observaron que los árboles plantados en suelos con biocarbón fueron 26% más altos y su diámetro era 27% mayor en comparación con los que no se adicionó el biocarbón. A los 36 meses, notaron una diferencia importante en la altura de los árboles, ya que fueron 30 cm más altos en comparación con los árboles tratados sin biocarbón. Además, observaron un aumento en promedio de 20 cm en el diámetro del tronco de los árboles que fueron tratados con biocarbón. En relación a los frutos, después de 36 meses, el doble de aguacates fue cosechado en aquellos que se trataron con biocarbón. Otro estudio se llevó a cabo en un cultivo forrajero de alfalfa (*Medicago sativa*) donde se agregó biocarbón al suelo en diferentes proporciones (10, 20, 30 t/ha). Se observó una aceleración del crecimiento del cultivo empleando 30 t/ha de biocarbón, ya que el primer corte de ocurrencia de floración se alcanzó en un lapso de 40 a 50 días, cuando normalmente este primer corte se realiza aproximadamente entre 60 y 65 días.

Existen varios estudios donde podemos encontrar los distintos

resultados benéficos de la aplicación del biocarbón a los suelos y cómo esto se relaciona a la mejora en la productividad de los cultivos (Tabla 1), y aunque existe gran variedad de resultados, la mayoría concluye que el nivel de mejora que otorga adicionar biocarbón al suelo está relacionado con sus características físicoquímicas y con la relación que desarrolla con los microorganismos que existen en el suelo.

Biocarbón para remediación de suelos contaminados con metales

Por otro lado, se conoce de la capacidad que tiene el biocarbón para retener elementos contaminantes en el suelo, como ciertos metales. La contaminación con metales en el suelo tiene un gran impacto ambiental, la presencia de metales pesados causa degradación y muerte de la vegetación y animales, afectan recursos naturales como el agua, aire y suelo. También puede ocasionar problemas de salud en las personas con contacto directo con suelos o alimentos que fueron cultivados en suelos contaminados.

Los metales pesados llegan a contaminar sitios principalmente por la actividad antropogénica, incluyendo la minería, procesos de fundición, disposición de residuos metálicos, uso de gasolina y pinturas con plomo, uso de pesticidas, lodos residuales y fertilizantes, entre otras. Estos residuos se concentran como residuos sólidos o aguas no tratadas que pueden llegar a los ríos, contaminar el suelo y entonces ser susceptibles de provocar bioacumulación de metales en plantas y animales. Algunos ejemplos de metal(oid)es tóxicos son el plomo (Pb), el mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el arsénico (As), entre otros. La preocupación ambiental radica en que los metales no pueden ser degradados, sino que una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. En este contexto, la aplicación del biocarbón es una alternativa para remediar suelos contaminados y mejorar sus propiedades; además se puede complementar con otra técnica para obtener mejores resultados. Atributos como una amplia área superficial, alta porosidad y volumen de poro (se relaciona a la capacidad de almacenamiento de una sustancia dentro del material) permiten que el biocarbón sea un material con capacidad de retenerlos o inmovilizarlos para evitar que se propaguen provocando mayores daños al medio ambiente (Ahmad *et al.*, 2018).

Existen diferentes mecanismos para explicar cómo el biocarbón actúa para remediar los suelos contaminados con metales pesados; los principales están basados en la inmovilización del metal para reducir su transporte en el suelo, es decir, los atrapa. Esto sucede por procesos como la adsorción, la co-precipitación, el intercambio catiónico, y la transformación de los metales a especies menos tóxicas a través de reacciones redox (Figura 3) (Yu *et al.*, 2019).

La adsorción es un proceso que permite separar los metales al ser adheridos en la superficie del biocarbón. Por otro lado, la co-precipitación es la formación de aglomeraciones que quedan adheridas en la superficie del biocarbón y que se dan al reaccionar algunos aniones como PO_4^{3-} (ion fosfato), SiO_4^{4-} (ion ortosilicato), entre otros, con los metales. El intercambio catiónico es el proceso que sucede cuando los metales presentes en suelo cambian su lugar por ciertos iones (átomo o molécula que no es neutra, tiene una carga positiva (catión), o negativa (anión)) que se encuentran en la superficie del biocarbón como el Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , entre otros. Finalmente, se encuentra la

transformación de los metales mediante reacciones de oxidación-reducción (reacción química entre una sustancia oxidante y una sustancia reductora, donde la sustancia oxidante pierde electrones y la sustancia reductora gana electrones, también conocida como reacción redox), en las cuales los metales son convertidos a especies menos tóxicas como por ejemplo la reducción del Cr(IV) a Cr(III) .

La aplicación del biocarbón en el suelo, se realiza in-situ, es decir, en el lugar de interés para remediar, aplicando diferentes dosis de toneladas de biocarbón por hectárea. Según algunos estudios se han llegado a aplicar 40 toneladas por hectárea, y esto depende de las concentraciones de metales, del tipo del suelo, y de la finalidad de su aplicación. También se han hecho estudios en pequeñas cantidades de suelo, analizando el progreso en laboratorios con muestras de suelo en macetas, las cuales también pueden ser analizadas con o sin siembra; las cantidades de dosis varían según la cantidad de suelo utilizado, el tipo de suelo y los objetivos del estudio.

El uso del biocarbón en suelos contaminados es una buena opción en términos económicos y ecológicos, porque se obtiene de materia prima disponible (residuos) en el entorno sin comprometerlo, lo cual permite mantener un bajo impacto ambiental.

Perspectivas del uso del biocarbón

En las últimas dos décadas, el estudio del biocarbón ha despertado el interés de investigadores a nivel mundial, pero ha sido en los últimos años que este interés se ha potencializado por sus múltiples usos y beneficios descubiertos, particularmente en la utilización de este en suelos y cultivos.

En México, hace aproximadamente 10 años, se comenzó a estudiar y experimentar de manera científica el biocarbón. Aunque hay estudios recientes no hay un gran número de ellos, por lo que existe un gran campo de investigación por trabajar y experimentar. Por ejemplo, con desechos/residuos que puedan servir como materia prima y que estén disponibles atendiendo a las características regionales del país. Esto también demandaría estudios para conocer las propiedades y características de estos biocarbones previo a su utilización, es decir demanda investigación.

El biocarbón podría considerarse un producto que contribuye a la creación de una economía circular, ya que desde su manufactura se pueden aprovechar residuos agrícolas, industriales, o domésticos ricos en materia

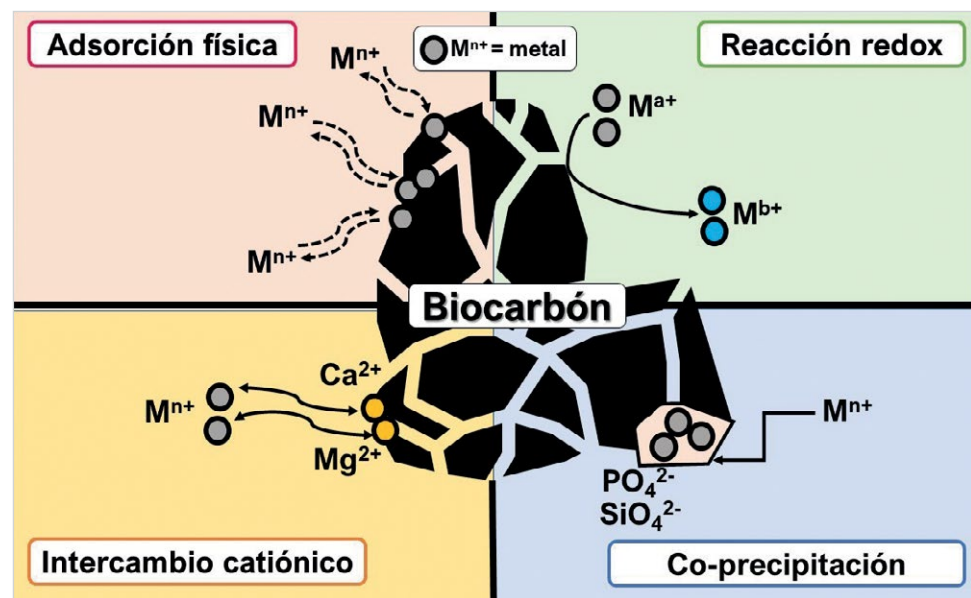


Figura 3. Usos del biocarbón enfocados a la remediación del medio ambiente. (Imagen de los autores.)

carbonácea como materia prima. Además, durante su proceso de fabricación se obtienen diferentes subproductos de interés que pueden ser empleados como combustibles, como es el caso del bio-aceite y los gases; también se ha reportado el uso del biocarbón para fines estéticos en la industria cosmética y alimentaria; y finalmente se pueden aprovechar sus atractivas propiedades fisicoquímicas para mejorar y remediar suelos contaminados que son la clave para contribuir a una producción agrícola saludable. El biocarbón debería ser más explorado para maximizar su potencial como mejorador de suelos y como elemento clave para la remediación de suelos.

Referencias

- Abhishek K., Shrivastava A., Vimal V., Gupta A. K., Bhujbal S.K., Biswas J.K., Singh L., Ghosh P., Pandey A., Sharma P., Kumar M. 2022. Biochar application for greenhouse gas mitigation, contaminants immobilization and soil fertility enhancement: A state-of-the-art review. *Science of The Total Environment*. 853, 158562.
- Ahmad Z., Gao B., Mosa A., Tu H.W., Yin X.Q. Bashir A., Ghozeisi H., Wang S.S. 2018. Removal of Cu(II) , Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions by biochars derived from potassium rich biomass. *Journal of Cleaner Production*. 180, 437-449.
- Yu H., Zou W., Chen. H., Yu Z., Huang J., Tang H., Wei X., Gao B. 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of Environmental Management*. 232. 8-21.

IMPORTANCIA DE LOS PARIENTES SILVESTRES DEL ALGODÓN:

EL CASO DEL ALGODÓN SILVESTRE *GOSSYPIUM TURNERI* (FRYXELL, 1978).

Karla Fabiola Yescas Romo¹, Francisco Elizandro Molina Freaner² y Corina Hayano-Kanashiro^{1*}

¹Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUS), Universidad de Sonora, Av. Luis Donaldo Colosio s/n, Col. Centro, Hermosillo, Sonora, México.

²Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Luis Donaldo Colosio s/n, esq. con Madrid, Col. Los Arcos, Hermosillo, Sonora, México.

*angela.hayano@unison.mx

La domesticación de plantas es el proceso de selección y mejora ejercida por humanos para modificar o preservar rasgos o caracteres deseables de las plantas para su cultivo y aprovechamiento. A la región donde ocurrió este proceso temprano de selección y mejora de la especie se le denomina centro de domesticación y, para los diversos cultivos de plantas que conocemos actualmente, existen diferentes centros donde fueron domesticadas. Los principales centros de domesticación conocidos en el mundo son: Mesoamérica, la región de los Andes, Etiopía y el Sahel en África, el sudeste de Asia, el sur de China y el suroeste de Asia.

Mesoamérica es la región comprendida desde el centro de México hasta el sur de Costa Rica. Esta región es considerada como uno de los principales centros de domesticación de una gran diversidad de especies de plantas. Las principales especies de plantas domesticadas en Mesoamérica incluyen al maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus* spp.), calabaza (*Cucurbita* spp.), chile (*Capsicum* spp.), aguacate (*Persea americana*), chayote (*Sechium edule*), ciruela mexicana (*Spondias purpurea*) y el algodón (*Gossypium* spp.).

El algodón es una planta que pertenece al género *Gossypium*, el cual es un recurso de gran importancia económica debido a que es una fuente de fibra natural para la elaboración de tejidos y prendas de vestir. Además, las semillas de algodón se han vuelto un recurso alimenticio valioso debido a que son una fuente rica de proteínas y aceite, siendo utilizadas para la elaboración de alimento de ganado como harinolina y aceite de cocina. El género *Gossypium* tiene más de 50 especies descritas en el mundo, pero únicamente cuatro especies fueron domesticadas: dos algodones de Asia, *G. herbaceum* y *G. arboreum* y, dos algodones de América, *G. hirsutum* y *G. barbadense*. De los algodones domesticados, *G. hirsutum*, es el que más se cultiva y representa cerca del 90% de la producción mundial de fibra de algodón. Esta especie tiene una distribución amplia

desde Centroamérica hasta el norte de Sudamérica, así como algunas islas del Caribe y del Océano Pacífico. Como todos los cultivos, cada especie cultivada de algodón tiene su propia historia y centro de domesticación. En el caso de *G. hirsutum*, el algodón cultivado más importante, su centro de domesticación fue la región mesoamericana de México-Guatemala.

La domesticación del algodón se enfocó en la mejora y preservación de rasgos como el rendimiento y calidad de la fibra. Sin embargo, el constante proceso de selección trajo como consecuencia una reducción en el reservorio genético, provocando que los cultivos de algodón sean más susceptibles a la aparición de nuevas plagas y/o enfermedades representando un riesgo para la producción sostenible de algodón y la industria textil. Una solución a esta problemática es expandir o aumentar el reservorio genético del algodón cultivado por medio de la utilización de sus parientes silvestres y mediante cruces hacerlo más tolerante, por ejemplo, a plagas y enfermedades. Las especies silvestres de algodón presentan características de interés para el mejoramiento del algodón cultivado, como la resistencia a hongos patógenos, bacterias e insectos, así como tolerancia a la salinidad y la sequía. Por esta



Figura 1. *Gossypium turneri*: A) Planta de *G. turneri*, B) flor de *G. turneri*, C) fruto de *G. turneri* y D) hoja de *G. turneri*.

razón, los parientes silvestres se consideran un importante recurso genético para el mejoramiento de cultivos como el algodón y, por lo tanto, es de gran relevancia estudiar y conservar las especies silvestres. Sin embargo, a pesar de su importancia, varios parientes silvestres del algodón cultivado han sido poco estudiados y algunos se encuentran en peligro de extinción.

En México, todos los parientes silvestres del algodón cultivado se encuentran en alguna categoría de riesgo de extinción de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) y con la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión

Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, International Union for Conservation of Nature). Entre las amenazas que enfrentan los algodones silvestres y por las cuales se encuentran dentro de una categoría de riesgo de extinción, se encuentran la deforestación y desmonte de vegetación para el desarrollo de campos agrícolas, el crecimiento urbano y el desarrollo turístico en su área natural de distribución, provocando la destrucción de su hábitat. Un ejemplo de algodón silvestre es la especie *G. turneri*, un algodón silvestre endémico del estado de Sonora y con una distribución restringida a una región costera al norte del municipio de Guaymas. Este algodón silvestre es un arbusto de aproximadamente un metro de altura con hojas lobuladas y flores amarillas con el centro rojo (Figura 1) que tiene características que son de interés para el mejoramiento del algodón cultivado como tolerancia a la sequía y la salinidad, así como tolerancia a insectos. Por lo tanto, se trata de una especie valiosa y un recurso único para México.

Este pariente silvestre del algodón cultivado fue anexado en el año 2019 a la NOM-059-SEMARNAT-2010 como una especie en peligro de extinción, mientras que, de acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN, se encuentra en peligro crítico. Hasta el momento se han detectado tres poblaciones de *G. turneri* al norte de San Carlos en el municipio de Guaymas. En los últimos años, se ha observado cómo avanza el desarrollo turístico (Figura 2) en dos de las poblaciones conocidas. Este desarrollo ha ocasionado la reducción y fragmentación del hábitat de la especie, así como el número de individuos de las poblaciones.

La expansión de las actividades humanas, como el desarrollo turístico y urbano, está afectando a una gran diversidad de plantas, incluyendo a los parientes silvestres de varios cultivos de importancia económica, como es el caso del algodón. En consecuencia, es imperativo

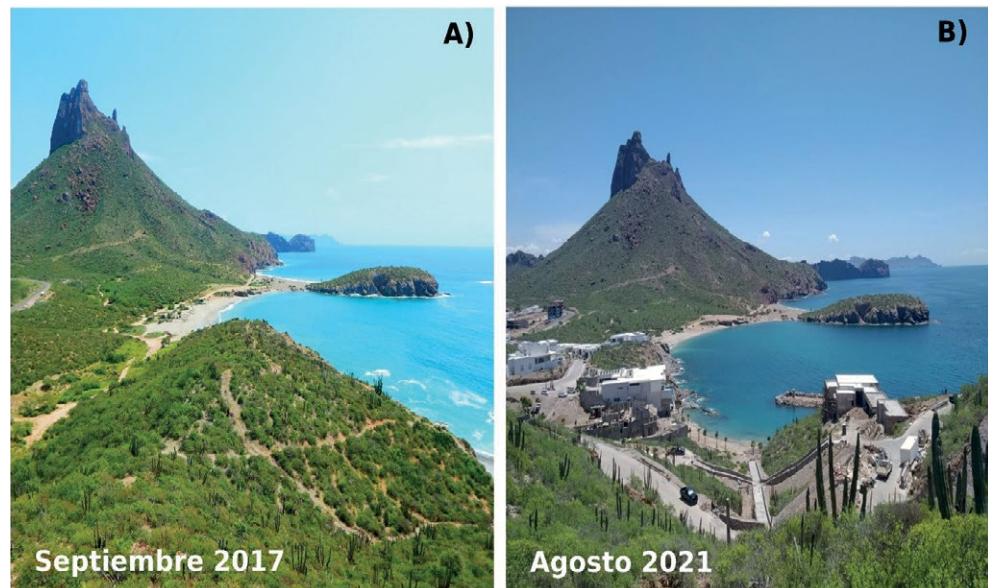


Figura 2. Crecimiento del desarrollo turístico en una población de *G. turneri* al norte de San Carlos A) Fotografía de la población tomada en septiembre del 2017 y B) fotografía de la población tomada en agosto del 2021. La construcción de estos inmuebles ha erradicado varios individuos de *G. turneri*.

implementar planes de conservación para proteger a los parientes silvestres de los cultivos domesticados en Mesoamérica, además de difundir la información a la sociedad para su conocimiento, dado que representan un importante recurso genético y algunos de estos parientes silvestres son endémicos de la región.

Conceptos

Centro de domesticación: Es la región o sitio donde ocurrió la domesticación temprana de animales o plantas silvestres.

Selección artificial: Proceso de selección ejercida por humanos que consiste en manipular la reproducción de diferentes especies para producir cambios en algunos rasgos o caracteres de interés para su aprovechamiento.

Reservorio genético: Conjunto de todas las variantes de los genes presentes en los individuos que constituyen una población.

Fibras textiles: Son fibras naturales o manufacturadas usadas para formar hilos o tejidos.

Amenazas a la conservación: Son aquellas actividades o procesos impulsados por el humano que ponen en riesgo a las especies y ecosistemas.

Referencias

- Abdurakhmonov I. Y., Buriev Z., Shermatov S., et al., 2012, Genetic diversity in *Gossypium* genus, en Caliskan, M. (eds): Genetic Diversity in Plants: Croacia, InTech, 313-338.
- Delgado-Salinas A., Caballero J., Casas A., 2004. Crop domestication in Mesoamerica: Encyclopedia of Plant and Crop Science, 310-313.
- Goettsch B., Urquiza-Haas T., Koleff P., et al., 2021, Extinction risk of Mesoamerican crop wild relatives: Plants, People, Planet, 3, 775-795.

¿ES LA REPRODUCCIÓN SEXUAL NECESARIA PARA MANTENER LA VARIABILIDAD GENÉTICA?

Carlos Daniel Sastré-Velásquez, Trinidad Encinas-García, Alejandro Varela-Romero, José Manuel Grijalva-Chon*

Universidad de Sonora. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Ave. Colosio s/n, Col. Centro. Hermosillo, Sonora, México CP 83000.

*manuel.grijalva@unison.mx

La variabilidad genética podríamos definirla como las diferencias que hay entre los individuos de una población y que esas diferencias se puedan explicar por la información genética que cada uno posee, es decir, por sus genotipos. Sabemos que los individuos de una misma especie no son 100% idénticos a nivel genético, por ejemplo, dos personas tomadas al azar de una población y sin lazos de parentesco pueden diferir en el color y textura del pelo, color de la piel, color de ojos, estatura, etc. Cada una de las características que podamos imaginar de un organismo, existen de manera variable dentro de una especie, pero las diferentes especies que componen la vida en el planeta Tierra tienen diferentes mecanismos de reproducción y de generación de diversidad genética. Por lo tanto, analizaremos cómo la estrategia reproductiva (sexual o asexual) se acopla a diferentes rutas para generar y mantener la diversidad genética.

El estudio de la variabilidad genética en los organismos con reproducción sexual podría considerarse más fácil de comprender y de estudiar, a diferencia de aquellos organismos y/o microorganismos con reproducción asexual, hermafroditas o virus. Sin embargo, su estudio se complica si se encuentran en un ambiente difícil de explorar como los océanos. Pero abordemos esto por partes.

El “problema” de la variabilidad genética

El planeta ha pasado por muchos cambios desde que se formó hace 4,600 millones de años, incluyendo variaciones en la temperatura ambiental, catástrofes naturales, extinciones masivas y aun así la vida se ha abierto paso. Todos los eventos anteriormente mencionados han moldeado a la Tierra de manera gradual, teoría conocida como el “uniformismo” propuesta por el escocés James Hutton en 1788. Las especies que aún habitan este planeta han ido continua y gradualmente adaptándose y sobreviviendo a los cambios ambientales. Por otro lado, también se tiene evidencia de algunas especies cuyos cambios morfológicos son mínimos y no son muy diferentes de sus ancestros, como por ejemplo los Cnidarios (medusas, anémonas de mar y corales), que son un grupo animal que surgió muy pronto después de las primeras células animales y se sugiere que han permanecido con muy pocos cambios desde su origen. A lo largo de la historia de la vida, podemos observar cambios entre la diversidad de especies que existen en la actualidad contra las que existieron en el pasado, de modo que características específicas que diferencian a una especie de otra están en continuo cambio dependiendo de la presión que el ambiente ejerce sobre ellas.

La definición más simple de una especie es: un conjunto de individuos que se entrecruzan y aquellos grupos que no se cruzan (por estar aislados) van a pasar por un proceso llamado de divergencia hasta desarrollar rasgos distintos para convertirse en nuevas especies. Este cruzamiento de individuos sería el mecanismo de reproducción sexual, en el cual se pueden generar infinitas combinaciones, con el potencial de una “infinita variación genética”, dado que aquella combinación de genes que sea adecuada para hacer frente a las condiciones ambientales se perpetuará en la población, potenciando la supervivencia de esa especie. En cambio, las especies que no opten por la reproducción sexual, se ven más limitadas de esta “infinita variación”, considerando que tener la misma

combinación de genes (clones del mismo individuo) en una población es muy peligroso para la supervivencia ya que no podrían hacer frente a las condiciones adversas del ambiente.

Lane (2005) habla sobre analizar la reproducción sexual como lo haría un genetista matemático, planteando una pregunta que estaría en contra de la “infinita variación”, la cual parte de la premisa de un organismo con una “combinación genética ganadora” ¿Por qué romper una combinación ganadora? ¿Por qué no sólo clonarla simplemente (reproducción asexual)? La infinita variedad generada por la reproducción sexual puede conducir a la descendencia de esta combinación ganadora, en una combinación “perdedora”, susceptible a la enfermedad o provocando la muerte de la descendencia, mientras que un simple “clon ganador” (o una población de clones ganadores) no tendrían este problema. En este caso “ideal”, la clonación, mediante la preservación de combinaciones genéticas, sería la mejor opción de acuerdo con Lane. Se hace énfasis en las comillas al decir que lo anterior es un caso “ideal”, ya que claramente esta idea pierde sentido una vez que pensamos en que todo está mediado por un ambiente con un sinnúmero de cambios, de modo que no existe una “combinación genética ganadora” y sólo podría existir algo así en el supuesto de que el ambiente sea estático y se comporte de manera predecible e invariable por la eternidad.

Como es de esperar, no existe en la naturaleza un proceso perfecto que no afronte consecuencias, esto no excluye a la reproducción sexual, la cual, a pesar de otorgar gran variabilidad genética a las poblaciones que la practican, han

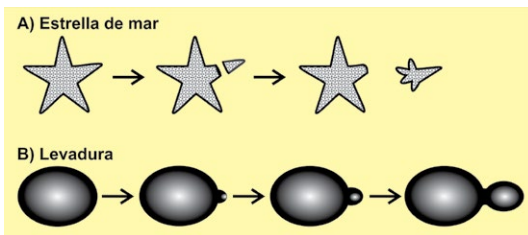


Figura 1. Modos de reproducción asexual. A) Escisión o fragmentación, por ejemplo, en las estrellas de mar. B) Gemación, por ejemplo, en las levaduras.

aparición hasta la actualidad, obteniendo las herramientas necesarias para conseguir y mantener la variabilidad genética entre sus descendientes. Con todo lo anterior sobre la mesa, abordaremos los diversos mecanismos que han desarrollado las especies con reproducción asexual, hermafroditas y los virus para poder aumentar las probabilidades de supervivencia, tal como lo han hecho desde millones de años atrás hasta el día de hoy.

Reproducción sexual

La reproducción sexual se realiza mediante la unión de dos células provenientes de distintos individuos. Los descendientes suelen ser morfológicamente distintos y de sexos diferentes, teniendo la clasificación sexual clásica de macho y hembra. Por lo general, la mayoría tiene la sensación de que la magia de esta forma de reproducción reside precisamente en la capacidad para generar variación, dado que los dos progenitores en el proceso de maduración de sus gametos mezclan los cromosomas que ellos recibieron de sus progenitores (proceso que se conoce como recombinación genética) para dar lugar a nuevas y únicas combinaciones que serán destinadas a sus descendientes. Así, un par de hermanos recibirán combinaciones genéticas diferentes. Este mecanismo de recombinación incrementa la variabilidad de las especies con reproducción sexual, lo cual es benéfico para que la especie pueda responder a las variaciones ambientales y así asegurar su sobrevivencia. Por lo tanto, la pregunta que nos podemos hacer es ¿Se puede generar y mantener la diversidad genética en ausencia de reproducción sexual?

Virus

Comenzando por los virus ¿Cómo podrían incrementar su variabilidad genética si no cuentan con una reproducción sexual que permita la recombinación de genes? Independientemente de que la clasificación de los virus esté en una constante disputa sobre si son seres vivos o no, en términos generales, los virus experimentan evolución y selección natural al igual que la vida celular. La pregunta previamente planteada parte de una premisa errónea, la cual es que los virus no cuentan con recombinación de genes, ciertamente sí cuentan con esta capacidad, aunque no por un método de reproducción entre un virus hembra con un virus macho. Una vez que un virus ingresa a una célula, logra intercambiar material genético con la célula hospedera para formar nuevas “mezclas”, las cuales serían combinaciones únicas y diferentes al material genético original, generando por ejemplo nuevas cepas.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el material genético de los virus presenta una alta tasa de modificaciones (mutaciones) debido a los errores asociados al proceso de copia de su material genético dentro de la célula hospedera, lo que les hace cambiar su composición genética en tiempos considerablemente cortos si se compara con la tasa de mutación de las especies que infectan. Es gracias a la mutación y a la recombinación con genes de los hospederos que los virus pueden generar y mantener esta variación genética, resultando en diferencias “heredables” en una población de virus y con esto, la selección natural hace el resto sobre las poblaciones de virus. Incluso, estos eventos mutacionales en los virus han provocado que algunos de estos entes no puedan completar su ciclo, dejando sus genomas o parte de ellos atrapados en el hospedero. De esta manera, se han detectado miles de secuencias genómicas de origen viral en el genoma humano (Alberts et al., 2014), insertadas durante epidemias ancestrales.

existido poblaciones sexuales que se han extinguido, es decir, este modo de reproducción no garantiza la ausencia del riesgo de extinción. A su vez, existen grupos que, sin recurrir a la reproducción sexual, han logrado prevalecer desde su

Reproducción asexual

En la reproducción asexual participa un solo individuo. La unidad reproductora puede ser una célula o un grupo de células que darán lugar a un individuo genéticamente igual al progenitor. La reproducción asexual sentó las bases de la vida por millones de años antes de que la reproducción sexual apareciera y proliferara, hasta el punto en el que los organismos superiores predominaran con reproducción sexual. Sin embargo, no podemos decir que las especies asexuales son menos aptas que aquellas especies con reproducción sexual, la prueba es que las especies asexuales persisten hasta la actualidad.

Existen diferentes mecanismos biológicos para este tipo de reproducción, destacando la escisión o fragmentación y la gemación. La escisión consiste en la división del organismo en dos o más partes, las cuales darán lugar a dos o más individuos completos, como sucede con las estrellas de mar cuando se rompe uno de sus brazos: la estrella regenera el brazo y el brazo separado desarrolla un cuerpo completo (Fig. 1A). La gemación se realiza a partir de una sobresaliente o protuberancia del cuerpo de un individuo, la cual crece y se desarrolla hasta formar un nuevo individuo, como por ejemplo en las levaduras (Fig. 1B). En ambas formas se requiere de un solo individuo para producir, en poco tiempo y sin las complicaciones de buscar una pareja, una gran cantidad de descendientes iguales al progenitor (Curtis *et al.*, 2011).

La situación de las especies con reproducción asexual no es muy distinta al de los virus en cuanto a las mutaciones como fuente de variación, dado que también sufren cambios al azar en la replicación de su secuencia de ADN, los cuales pueden ser beneficiosos o perjudiciales ante la acción de la selección natural. Sin embargo, hay otros mecanismos que ayudan a promover la variación genética. En el caso de procariontes (células sin núcleo, como las bacterias), estos cuentan con un gran genoma circular y poseen los plásmidos, que en términos generales también son genomas circulares, pero de tamaño mucho menor. Las bacterias cuentan

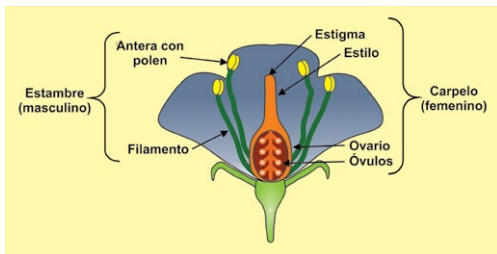


Figura 2. Anatomía de la flor en donde se muestran los órganos masculino y femenino.

con la capacidad de transferir los plásmidos hacia otros individuos de la misma o diferente especie, pareciéndose en gran medida a un evento primitivo o vestigial de la reproducción sexual (claro está que nos referimos a primitivo en el sentido en el que “apareció primero” y no en el sentido de que sea algo “obsoleto”, claramente es un proceso perfectamente vigente). Este es un mecanismo por el cual las bacterias obtienen variación genética.

Especies hermafroditas

Las especies hermafroditas no son raras y las plantas suelen ser el ejemplo clásico (Fig. 2), ya que hay especies que cuentan con ambas estructuras sexuales características de un fenotipo macho y hembra (Fig. 3), que se pueden encontrar muy próximas entre sí en las flores. No es de extrañar que sucedan eventos de autofecundación entre las células sexuales del mismo individuo, aunque eso pocas veces sucede ya que la autofecundación produce una descendencia menos vigorosa que la descendencia proveniente de progenitores diferentes. En este sentido, la variabilidad genética en las especies hermafroditas es resuelta en mayor medida por la fecundación cruzada entre individuos diferentes por simple dispersión al azar de las células sexuales. Sin embargo, está claro que siempre existirá una proporción de pistilos que sean autofecundados por los estambres del mismo individuo y al final de cuentas esto reduce la capacidad de generar variabilidad en una población. De hecho, se han reportado casos de incompatibilidad sexual, mecanismo presente en angiospermas (plantas que producen flores y frutos) que permite al pistilo rechazar el polen propio y aceptar el de plantas genéticamente diferentes, favoreciendo los eventos de polinización cruzada. El resto queda en manos de las fuerzas evolutivas que

moldearán la población por selección natural.

También hay ejemplos de autofecundación hermafrodita en el reino animal. Se sabe que las poblaciones del pez rivulín de manglar (*Kryptolebias marmoratus*) se componen de individuos machos y de hermafroditas, pero no se han detectado hembras. Este organismo puede autofecundarse, característica que ha persistido en estos peces durante al menos varios cientos de miles de años (Tatarenkov *et al.*, 2009). Por lo tanto, esta especie depende principalmente de las mutaciones para generar variación genética y, dado que la mayoría de los clones generados (que viven en una misma laguna de manglar) tienen diferentes mutaciones a lo largo de su genoma, la mezcla regular de individuos de diferentes poblaciones podría explicar tanto la variación genética como la diferenciación de las poblaciones.



Figura 3. Las pequeñas flores del arbusto de ornato del género *Duranta* tiene los órganos sexuales de ambos sexos. Foto: José Manuel Grijalva Chon.

Conclusiones

Tener variación genética contribuye a la adaptación y un problema de las especies asexuales es que puede resultarles difícil adaptarse a un nuevo ambiente. Cuanta más variación genética haya, más posibilidades de adaptación tendrán. Esto puede significar que los organismos asexuales están en seria desventaja. Sin embargo, hay evidencia clara de que sus estrategias son tan útiles para la supervivencia de la población como la de los organismos sexuales, la prueba está en que estas especies continúan existiendo, sobreviviendo y en algunos casos incrementando sus poblaciones, al mismo tiempo que otras especies con la capacidad de reproducirse sexualmente están desapareciendo debido a las presiones ambientales a las que se enfrentan y por la acción directa de la especie humana. En el sentido estricto de la supervivencia, estas especies asexuales que están proliferando serían más aptas que las especies sexuales que se están extinguiendo. Tanto es así que los virus son los entes más diversos y abundantes en la Tierra. Incluso existe el caso de especies con estrategias dobles en donde parte del ciclo de vida involucra una fase asexual y otra parte involucra a la reproducción sexual. Por ejemplo, la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris*, (Fig. 4) pasa por una fase asexual en forma de un pólipo que vive pegado al fondo marino y le sigue una fase sexual en forma de medusa de vida libre, en donde cada fase aporta algo a la supervivencia de la especie, ya que mientras la fase asexual proporciona resiliencia y tolerancia a condiciones extremas, la fase sexual aporta variabilidad genética, funcionando en conjunto como una maquinaria casi perfecta para este organismo.

Todas las especies que habitan sobre la Tierra ocupan un nicho ecológico al cual se han adaptado, es decir, tienen estrategias de supervivencia, que incluye el tipo de alimento consumido y cómo conseguirlo, de la forma de competir con otras especies, de cómo evitar ser comido y todo esto para perpetuar a su especie. Así, incluso para los virus, hay espacios apropiados, en dónde en general, el ambiente es una ruleta de posibilidades y problemáticas. Las soluciones a los problemas que amenazan la vida se han ido encontrando no sólo por las especies que actualmente viven, sino también por las que vivieron en el pasado.



Figura 4. La medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*) tiene un ciclo de vida complejo, con una fase asexual sésil y una fase sexual de vida libre. Foto: José Manuel Grijalva Chon.

Referencias

- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., Walter, P. 2014. Essential Cell Biology. Garland Science. New York. 864 pp.
- Lane N. 2005. Los diez grandes inventos de la evolución. Editorial Planeta. Barcelona, España. 400 pp.
- Tatarenkov, A., Lima, S.M.Q., Taylor, D.S., Avise, J.C. 2009. Long-term retention of self-fertilization in a fish clade. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 106, 14456-144569.

“NUESTRA TIERRA”

Revista de divulgación de Ciencias Naturales

“Nuestra Tierra” es una publicación semestral de la Estación Regional del Noroeste de la Universidad Nacional Autónoma de México, con la cooperación del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora; es un medio de difusión de Ciencias Naturales como son las Ciencias de la Tierra y las Biológicas, aunque puede cubrir otras áreas del conocimiento científico. Su objetivo es dar a conocer, de manera sencilla, artículos y/o reportajes sobre investigaciones realizadas en los campos antes mencionados, tanto en México como en otras partes del mundo, así como temas de interés general relacionados con nuestro planeta y el universo. Se sugiere que los autores de las contribuciones sean especialistas o conocedores del tema. No se aceptan, en cambio, artículos de investigación ni informes de trabajo. Esta revista está dirigida no sólo a personas con estudios universitarios, sino también a estudiantes de nivel medio superior. Por esta razón, se pide a los autores que utilicen un lenguaje ágil, claro y sencillo, aunque sin que sea coloquial, limitando los términos especializados, los cuales deben de ir seguidos de una definición corta y clara, ya sea entre paréntesis o comillas, como nota al pie de página o como un cuadro resaltado dentro del texto. Las abreviaturas o acrónimos deben de evitarse hasta donde sea posible, a menos que sean de uso y conocimiento común.

NORMAS EDITORIALES

Texto

Los artículos deberán estar escritos en español, en “Word”, con letra Times New Roman, 11 puntos, normal, a doble espacio y con márgenes de 2.5 cm. Se recomienda dividir el texto con subtítulos en negritas. Los trabajos deberán enviarse en formato de archivo DOC o RTF (Rich Text Format) con el mínimo de formato posible. El nombre del archivo deberá contener las palabras clave del título, o el tema del mismo.

Imágenes, fotografías, cuadros y figuras

Las imágenes, fotografías, cuadros y figuras deben presentarse como archivos independientes, enlistarse en hojas separadas y deben ser numerados en el orden de aparición en el texto. Deberán estar en español y tener los debidos permisos de reproducción cuando no sean originales (producidos por el autor). El número de los mismos no deberá ser mayor de 5, aunque podrían aceptarse hasta 7 en los casos que así lo ameriten. Las imágenes deberán tener una resolución mínima de 300 dpi, con formato JPEG, TIFF o PDF. En el caso de que se adquieran de internet, se recomienda guardarlas con el tamaño más grande para que tengan la mayor resolución.

Los encabezados de cuadros y tablas, y los pies de figura y de foto deben tener la información suficiente para entenderse sin la ayuda del texto principal.

Se publicarán artículos en dos modalidades: 1) textos cortos, con un mínimo de ½ página impresa y un máximo de 2 páginas; 2) textos en extenso, con un mínimo de 3 y máximo de 6 cuartillas con ilustraciones. En el texto no deben incluirse agradecimientos ni dedicatorias.

Los artículos recibidos serán evaluados por el editor en jefe; si éste considera que el artículo puede publicarse, lo pasará a los editores asociados para su revisión, y los comentarios y observaciones serán regresados al autor para correcciones finales. Sin embargo, si fuera necesario hacer correcciones mayores en la versión del manuscrito enviado por primera vez, el editor en jefe enviará el artículo al autor con sus comentarios. Si fuera el caso, se rechazarán aquellos artículos que no cumplan con los objetivos de la revista o que no tengan la calidad adecuada, tanto en la escritura como en el contenido, sin ninguna responsabilidad de la revista.

Citas

En caso de incluir citas de artículos, se sugiere un máximo de 3. Se debe incluir la bibliografía al final con el siguiente formato:

Para un autor: apellido y fecha (Torres, 1997).

Para 2 citas o más de un mismo tema, separar cada cita por un punto y coma (;) y en orden cronológico: (Torres et al., 1987; Barrón, 2006).

Referencias

En el caso de recomendar alguna lectura, la referencia debe ir completa al final del texto con el siguiente formato:

a) Artículos en publicaciones periódicas

Apellido(s), Inicial(es), Año, Título: Título de la revista, volumen, número de la primera y la última página del artículo. Ejemplo:

Barrios D., 1991, El oro y la historia de Perú: Historia Latinoamericana, 100, 35-40.

b) Monografías

Apellido(s), Inicial(es), año, Título de la monografía: Lugar de publicación, editorial, número de páginas. Ejemplo:

Faure, G., 1986, Principles of Isotope Geology: New York, John Wiley, 345 pp.

c) Capítulos en volúmenes editados

Apellido(s), Inicial(es), Año, Título del capítulo, en (Apellido e iniciales del editor o editores del volumen), (ed(s).), Título del volumen editado: Lugar de publicación, editorial, número de la primera y de la última página del capítulo. Ejemplo:

De Cserna, Z., 1968 Geología, en Lorenzo, J.L., De Cserna, Z., Herrera, I. (eds.): Las Ciencias Geológicas y su perspectiva en el desarrollo de México: México, Ediciones Productividad, 41-68.

Los autores podrán enviar sus trabajos a:

Dra. Aurora M. Pat Espadas

Editora en Jefe de Nuestra Tierra

Estación Regional del Noroeste

Instituto de Geología, UNAM

Hermosillo, Sonora

neustratierra@geologia.unam.mx

AGENDA TIERRA

Espacio dedicado a compartir los días mundiales e internacionales declarados en las asambleas de la ONU, con el objetivo de llamar la atención sobre temas importantes que promuevan el interés en la preservación de nuestro entorno natural. En esta ocasión, hablaremos del día internacional de la Luna que se conmemora el 20 de julio para recordar el primer aterrizaje del ser humano en la luna, así como celebrar los logros en la exploración de la Luna.

¿Qué es la luna y por qué es importante? La luna es el satélite natural de la Tierra; estabiliza el eje de rotación terrestre, esencial porque se mantienen los ciclos estacionales; sus ciclos lunares son importantes para la vida animal y vegetal; debido a su atracción gravitacional existen las mareas y corrientes marinas necesarias para la vida en los océanos.

¿Qué hacer en este día? crear conciencia sobre la exploración y utilización sostenible de la Luna sobre todo con fines pacíficos.

Referencia: www.un.org/es/observances/moon-day

Aimée Orcí. Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Luis D. Colosio y Madrid, Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83000.

• Día internacional de la luna.

20 DE JULIO

• Día internacional del aire limpio por un cielo azul.

• Día internacional de la preservación de la capa de ozono.

7 DE SEPTIEMBRE

16 DE SEPTIEMBRE

• Día mundial de la concientización sobre los tsunamis.

• Día mundial de la ciencia para la paz y el desarrollo.

5 DE NOVIEMBRE

10 DE NOVIEMBRE

• Día mundial del suelo.

• Día internacional de las montañas.

5 DE DICIEMBRE

11 DE DICIEMBRE