

La descomposición de la materia orgánica: un proceso crucial para sostener el funcionamiento de los bosques tropicales amazónicos

■ Por Brian Four, CNRS, Laboratorio de Ciencias por el Medio Ambiente (UMR 6134 SPE), Universidad de Corte, Francia (bfour36@gmail.com), Rafael E. Cárdenas, Museo de Zoología QCAZ y Laboratorio de Entomología PUCE (recardenas@puce.edu.ec) y Olivier Dangles, IRD, Centro de Ecología Funcional y Evolutiva (CEFE), Montpellier, Francia (Olivier.dangles@ird.fr).

¿De dónde viene la importancia de la descomposición?

Los productores primarios, como por ejemplo las plantas, son los únicos seres que permiten la producción de materia orgánica esencial para la vida de todos los otros organismos (consumidores) de las redes tróficas en los ecosistemas del mundo. En efecto, ya sea un saltamontes (consumidor primario), una mantis (predador), un tucán (consumidor primario y predador) o un humano, considerado como consumidor “superior”, ninguno puede producir su propia materia orgánica y es por eso que todos necesitan una alimentación rica y diversificada. En eso, la producción de materia orgánica vegetal es esencial para el funcionamiento de la mayoría de los ecosistemas del mundo.

Esta materia orgánica vegetal “primaria” está producida a partir del CO₂ del ambiente y de nutrientes inorgánicos. Estos últimos provienen inicialmente del biotopo (sustratos, ríos, suelo, etc.) pero también del reciclaje de la materia orgánica muerta. Por eso, la tasa de estos nutrientes al nivel de los ecosistemas es muy variable y eso puede influir mucho sobre la productividad y la diversidad en los ecosistemas.

Se conoce que en las zonas continentales, más del 90% de la materia

orgánica producida anualmente por las plantas regresa al suelo nuevamente como materia orgánica muerta (hojarasca, madera, frutas, flores) (Fig. 1) Esta materia orgánica es una fuente central de energía y nutrientes para las comunidades heterótrofas en los ecosistemas terrestres y acuáticos que la usan y la transforman, a través de un proceso llamado “descomposición”, en nutrientes inorgánicos. Además, en esta parte de la Amazonia, debido al tipo de sustrato y al clima, el suelo es muy pobre en nutrientes esenciales para la vida de todos los organismos como por ejemplo el nitrato, el fosfato, pero también otros menos abundantes como el sodio, el calcio, el magnesio o el manganeso. Como

resultado, en zonas muy productivas como en los bosques primarios húmedos de la Amazonia, donde la producción primaria representa alrededor del 35% de la producción terrestre mundial, se necesita una gran cantidad de CO₂ en el aire pero también de algunos nutrientes esenciales a nivel del suelo. De ahí que este proceso de descomposición permite la retroalimentación del suelo en nutrientes y es fundamental para el funcionamiento de este ecosistema forestal.

¿Dónde se realiza la descomposición?

En los ecosistemas forestales, como los bosques primarios de la Amazonia, la gran parte de la descom-



Figura 1. La mayoría de estas miles de hojas que se producen al nivel del dosel acaba, un día, cayendo en el sotobosque.

posición se realiza donde se acumula la hojarasca y/o la madera muerta, es decir al nivel del sotobosque, ya sea en los hábitats terrestres (suelo) o en los hábitats acuáticos (charcos, lagunas, riachuelos y ríos) (Fig. 2). Por una parte, dadas las proporciones que representan los suelos en los bosques, este hábitat es el lugar donde cae la mayor parte de la hojarasca y todo tipo de materia muerta. Por esto, este hábitat es central en la descomposición y en el reciclaje de los nutrientes. Asimismo, en los riachuelos, es decir en las zonas más bajas o de depresión, y en la densidad de la red de los mismos en los bosques húmedos de la Amazonia, estos hábitats colectan poco a poco la hojarasca que cae desde el dosel del bosque y la puede acumular en cantidades significativas lo que hace de estos hábitats, lugares también muy importantes para el proceso de descomposición. La corriente permite además el transporte y la mezcla de este material o de los productos de la descomposición (ej. nutrientes) en diferentes zonas acuáticas. De ahí que este hábitat sea muy importante tanto para la descomposición y el reciclaje de los nutrientes como también para el traslado y su redistribución a través de las cuencas hidrográficas.

¿Cómo se hace la descomposición? ¿Cuáles son los grupos de organismos que realizan este proceso?

La descomposición es un proceso de fraccionamiento, disolución y degradación de la materia orgánica que conduce a la destrucción de moléculas grandes como la celulosa, la lignina, los azúcares, pero también de las proteínas, lípidos, etc. que la constituyen y a la producción de moléculas pequeñas como los nutrientes (ej. N, P, K, Na, Ca, Fe, Mg, Mn, etc.) y el CO₂. Ya sea a nivel del suelo o de los riachuelos, este proceso está prin-



Figura 2. Paisajes típicos del sotobosque que muestran la acumulación de la hojarasca en los hábitats del suelo (izquierda), de los pantanos (centro) y de los riachuelos (derecha) en la Amazonia.

cipalmente realizado por diferentes pero similares grupos de organismos entre estos dos tipos de hábitats.

Si bien se puede decir que un tapir andando en el bosque o un caimán nadando en el fondo de un río participa de manera indirecta en la descomposición, fraccionando la madera o la hojarasca, sus acciones, como las de todos los animales grandes, para este proceso son considerados secundarios. En cambio, tres grupos de organismos mucho más pequeños pero mucho más numerosos como son los invertebrados detritívoros, los hongos y las bacterias desempeñan un papel principal; puesto que los invertebrados detritívoros como las termitas, los colémbolos, algunas larvas de coleópteros, las lombrices en el suelo, los camarones, larvas de efímeras, de plecópteros o de coleópteros en el agua, al alimentarse de la materia orgánica muerta, tienen principalmente un rol de fraccionamiento y de degradación de la parte más suave y rica de esta. En efecto, sus heces, “producen” una materia orgánica fina y ‘pre-digerida’ lo que facilita la acción de los hongos y bacterias para la descomposición *per se*. A su vez, los hongos representan uno de los grupos más importantes para este proceso porque ellos pueden producir un cóctel enzimático muy poderoso que permite la degradación de las moléculas más fuertes de la ma-

teria orgánica vegetal como la lignina o como algunos taninos. Finalmente, las bacterias tienen una acción importante que sucede gracias al proceso de los grupos de organismos anteriormente mencionados. Las bacterias son las que culminan con el trabajo químico de descomposición que permite la mineralización y finalmente el reciclaje de los nutrientes que, a partir de ese momento, puede ser utilizado por las plantas según sus propios requerimientos.

Recientes estudios realizados en el Parque Nacional Yasuní evidenciaron una tasa de descomposición similar de la hojarasca tanto a nivel del suelo como en los riachuelos. Los primeros resultados conseguidos en esta área tienden a mostrar que el rol de cada grupo identificado (invertebrados, hongos y bacterias) sobre este proceso es diferente entre estos dos tipos de hábitats: una acción central de los hongos para la descomposición de la hojarasca a nivel del suelo; en cambio, los invertebrados desarrollan su mayor actividad a nivel del agua (Fig. 3).

Dime de qué está compuesta la hojarasca, te diré cuán rápido se va a descomponer en el bosque...

Al tocar las hojas, uno puede darse cuenta de la cantidad de texturas distintas que estas presentan: algunas son muy débiles, otras son muy duras;



Figura 3. Hongos y un chiquito invertebrado detritívoro (Diplopoda) participando en la descomposición de una hoja al nivel del suelo en el Parque Nacional Yasuní.

unas son gruesas, otras delgadas, unas tienen pelitos, otras no. Esa diversidad proviene de la multitud de estrategias que tienen las especies de plantas que coexisten en el bosque y de las estructuras particulares de sus hojas conseguidas por años y años de evolución dependiendo de sus adaptaciones para buscar la luz, sintetizar sus moléculas de interés para sus vidas o de sus defensas contra los herbívoros. A partir de estas características físicas de la hojarasca, parece obvio decir que algunas pueden influir sobre sus propias velocidades de descomposición. En efecto, uno puede imaginarse fácilmente que una hoja gruesa y dura va a descomponerse más lento que una hoja delgada y débil y eso se puede explicar por diferentes razones. Por ejemplo, si consideramos la actividad de los invertebrados, dependiendo del tipo de mandíbulas, unos no van a poder comer las hojas duras, o les va a costar más energía hacerlo. Además, así como nosotros por la carne, los invertebrados prefieren una comida más suave que tibia. En eso, si pueden elegir, lo que es el caso en la Amazonia donde en una hectárea se encuentra alrededor de 655 especies de árboles, ellos van a comer, en prioridad, la hojarasca más suave lo que indirectamente va a influir sobre la tasa de descomposición de ciertas hojas más duras.

Pero, atrás de eso, existen otras características que son a priori menos obvias porque no se ven directamente, que dependen de la composición química de las hojas y que también pueden influir sobre la descomposición. Entre estas, la cantidad de macronutrientes o de compuesto refractarios. Estudios conducidos en laboratorio evidenciaron, por ejemplo, que una alta cantidad de nitratos o de fosfatos podía favorecer la descomposición por los microbios y por los invertebrados aumentando la actividad, y el creci-

miento de los mismos. Por otra parte, está ampliamente demostrado que una cantidad de compuestos refractarios como los taninos o la lignina pueden influir negativamente en la descomposición de la hojarasca (Fig. 4).

Además, en el Parque Nacional de Yasuní, como otras áreas localizadas en la parte nor-oeste de la Amazonia, es decir muy lejos de la influencia marítima y donde el sustrato es muy pobre en muchos elementos nutritivos esenciales para la vida de los organismos (como por ejemplo el calcio, el magnesio, el sodio), estudios recientes mostraron una relación entre la tasa de algunos micronutrientes contenidos en la hojarasca (o en sustratos celulósicos usados para simular la descomposición de la materia orgánica) y la tasa de descomposición de la materia orgánica. Es, por ejemplo, el caso del manganeso, del sodio o del cobre. Se evidenció que una buena proporción de los dos primeros favorece la tasa de descomposición de la hojarasca y que al contrario una alta proporción de cobre parece desfavorecer la tasa de descomposición. Esto evidencia la importancia fundamental de estos compuestos para las actividades de las redes tróficas basales de

la Amazonia.

De la importancia del ambiente, a la amenaza del cambio climático...

Como todos lo saben, es siempre mejor guardar la leche en la refrigeradora que en la alacena... Y eso viene del hecho de que una temperatura alta favorece la multiplicación y la actividad de las bacterias. Estudios globales evidenciaron la importancia de algunos parámetros ambientales para la descomposición de la materia orgánica y de la hojarasca. Entre todos, la tasa de nutrientes, la temperatura, la humedad, el oxígeno en el ambiente aparecen como factores cruciales para el proceso de descomposición. Por esto, de manera general, se nota una descomposición más rápida en los riachuelos que en tierra. En efecto, los riachuelos recuperando el agua enriquecida en nutrientes que provienen del suelo, están menos limitados por nutrientes que el suelo cercano. Además, el agua *per se*, no es un limitante tampoco por el crecimiento de los hongos en este hábitat, lo que puede ser el caso al nivel del suelo en zonas templadas, por ejemplo.

En el bosque del Parque Nacional

Yasuní, como en una gran parte de la Amazonia, el termómetro indica una temperatura promedio diaria siempre cerca de los 24,5 °C, lo que es un coadyuvante a la general alta tasa de descomposición de la materia orgánica registrada en este ecosistema, bien sea al nivel del suelo o en los riachuelos. Pero, en este ecosistema el clima es asimismo muy húmedo, lo que favorece también mucho a la descomposición, por lo menos en los hábitats terrestres. A propósito, este parámetro debe ser uno de los que explicaría la similar tasa de descomposición entre los hábitats terrestres y acuáticos que fue evidenciado por estudios realizados en el Parque Nacional Yasuní. En efecto, ahora, la humedad ambiental en el bosque queda siempre cerca del 100% lo que favorece el crecimiento y por lo tanto la actividad de los microorganismos al nivel del suelo.

Pero estudios sobre el efecto del cambio climático en la Amazonia pronostican, dependiendo de los modelos, un aumento de la temperatura entre 2.5 °C y 6 °C y una modificación del régimen de lluvia provocando sequías en ciertas épocas del año. También, estas épocas de sequía podrían estar reforzadas por los cambios de usos del suelo en la zona (por la agricultura, la deforestación, etc.). Estos cambios podrían modificar drásticamente el proceso de descomposición y el reciclaje de los nutrientes en los bosques primarios de la zona, lo que, por lo tanto, podría afectar todo el funcionamiento de este ecosistema mega diverso. En este contexto, es una necesidad estudiar el efecto de estas predicciones de cambio para tener bases científicas sólidas, en primer lugar al proceso de descomposición de la materia orgánica (¿cómo afecta a la descomposición?, ¿cómo responden los organismos relacionados?). Después, estos resultados podrán ayudar a prever cómo los cambios evidenciados

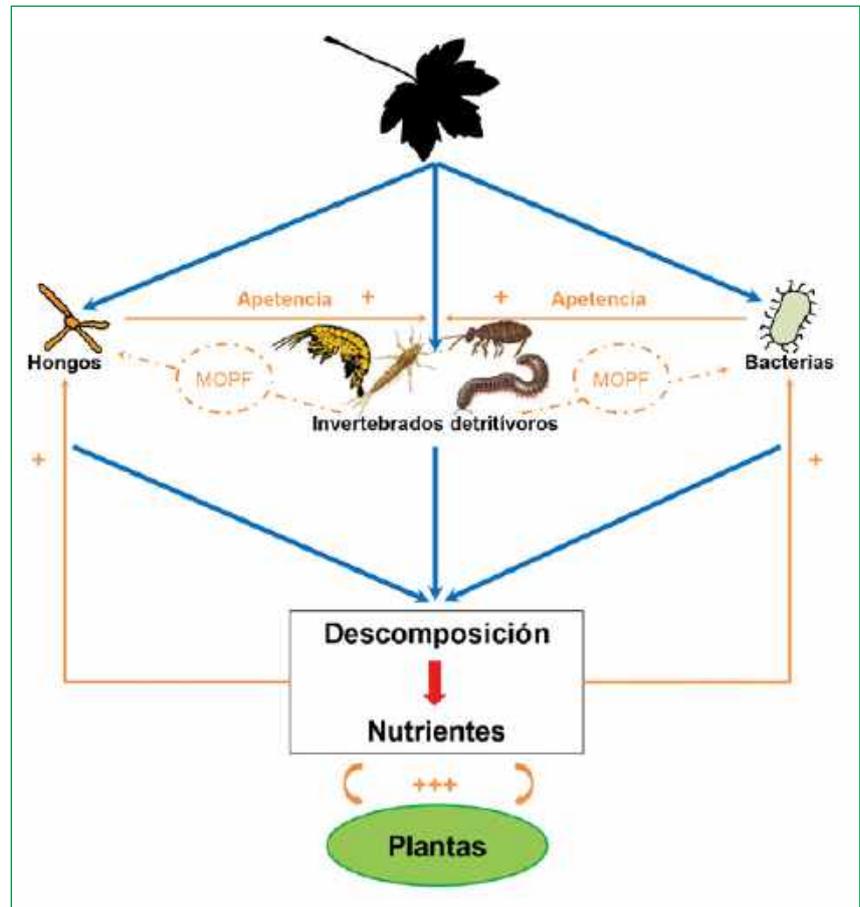


Figura 4. Gráfico teórico de los actores de la descomposición. Los invertebrados comiendo la hojarasca producen una materia orgánica particular más fina (MOPF) que favorece la actividad de los hongos y bacterias. Los hongos y bacterias descomponiendo las estructuras de las moléculas complejas aumentan la apetencia de la hojarasca para los invertebrados. In fine los nutrientes producidos al final de la descomposición pueden favorecer la actividad de los microbios y sobre todo permiten el crecimiento de las plantas.

sobre este proceso afectan el funcionamiento del ecosistema (cantidad de nutrientes en los hábitats, crecimiento de las plantas, diversidad de plantas, etc.). En esto, la ciencia nos puede ayudar para mejorar el conocimiento sobre el funcionamiento de los ecosistemas de la Amazonia e intentar encontrar soluciones para reducir nuestros impactos sobre el funcionamiento de estos ecosistemas mega diversos.

Literatura consultada

Capps, K.A., M.A.S. Graça, A.C. Encalada and A.S. Flecker. 2011. Leaf-litter decomposition across three flooding regimes in a seasonally flooded Amazonian watershed. *Journal of Tropical Ecology* 27:205–210.

Cárdenas, R.E., D.A. Donoso, A. Argoti and O. Dangles. 2017. Functional consequences of realistic extinction

scenarios in Amazonian soil food webs. *Ecosphere* 8:e01692.

Four, B., R.E. Cárdenas and O. Dangles O. 2019. Traits or habitat? Distinguishing predictors of leaf-litter decomposition in Amazonian soils and streams. *Ecosphere*. 10:e02691.

García-Palacios, P., B.G. McKie, I.T. Handa, A. Frañer and S. Hättenschwiler. 2015. The importance of litter traits and decomposers for litter decomposition: a comparison of aquatic and terrestrial ecosystems within and across biomes. *Functional Ecology* 30:819–829.

Valencia, R., et al. 2004. Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: large forest plot in eastern Ecuador. *Journal of Ecology* 92:214–229.