
Bosques y Polinizadores: ¿Cómo se reproducen los árboles?¹

Forests and Pollinators: How do trees reproduce?

Por: Zorayda Restrepo Correa², Luisa Fernanda Duque Serna³ & Édinson Muñoz Ciro⁴

Resumen

Los árboles se destacan en todos los ecosistemas del mundo por ser uno de los elementos principales en la estructura y composición de su diversidad: comprenden el 80% de las plantas que existen y aportan la mayor densidad de individuos en la estructura principal de los bosques, además de constituir a escala global los mayores sumideros de carbono, para contrarrestar el cambio climático. Entendiendo la gran relevancia de estos organismos y con la idea de dar a conocer cuáles son los aspectos que le permiten a un árbol existir a lo largo de cientos e incluso miles de años, creciendo muy despacio, anclado en un solo espacio y sin posibilidad alguna de huir de sus consumidores y parásitos, en este documento se pretende divulgar aspectos conceptuales sobre la vida y la reproducción de los árboles, soportados en datos de campo recolectados a lo largo de diversos ecosistemas de Colombia, para una mejor ilustración del tema. En general, se puede concluir que el metabolismo y la reproducción son las principales herramientas de los árboles para ser exitosos, es por ello que han optado por establecer complejas interacciones ecológicas y numerosas alianzas con otros organismos, siendo sus relaciones primordiales con vectores animales, para poder reproducirse y garantizar la permanencia en los ecosistemas de mundo. Para ello han generado estrategias que incluyen recompensas específicas y muy especializadas; por ejemplo, los aromas y la termogénesis, que garantizan la constancia, permanencia y abundancia en el tiempo de quienes contribuyen con el transporte del polen, principalmente los insectos, para realizar la polinización.

Palabras clave: polinización, interacciones, estrategias, árboles, recompensas, vectores, insectos.

Abstract

Trees stand out in all ecosystems of the world for being one of the main elements in the structure and composition of their diversity: they comprise 80% of the existing plants and provide the highest density of individuals in the main structure of forests, in addition to being the largest carbon sinks on a global scale, to counteract climate change. Understanding the great relevance of these organisms and with the idea of making known what are the aspects that allow a tree to exist for hundreds and even thousands of years, growing very slowly, anchored in a single space and without any possibility of fleeing from its consumers and parasites, this document aims to disseminate conceptual aspects of the life and reproduction of trees, supported by field data collected throughout various ecosystems of Colombia, for a better illustration of the subject. In general, it can be concluded that metabolism and reproduction are the main tools of trees to

be successful, which is why they have chosen to establish complex ecological interactions and numerous alliances with other organisms, being their primary relationships with animal vectors, in order to reproduce and ensure the permanence in the ecosystems of the world. To this end, they have generated strategies that include specific and highly specialized rewards; for example, scents and thermogenesis, which guarantee the constancy, permanence and abundance over time of those who contribute with the transport of pollen, mainly insects, to carry out pollination.

Keywords: pollination, interactions, strategies, trees, rewards, vectors, insects.

Árboles y bosques del mundo

Los árboles se destacan como los componentes más conspicuos y determinantes de la estructura de todos los ecosistemas terrestres del mundo, y constituyen uno de los grupos botánicos más diversos, ya que comprenden el 80% de los vegetales que existen en el planeta (Qian *et al.*, 2018); pero esta diversidad está distribuida entre pocas especies dominantes y muchas especies raras. Cerca del 30% de las especies en el neotrópico son raras y su mayor proporción se encuentra en altas elevaciones (>1000 m de altura sobre el nivel del mar -msnm-), principalmente en los bosques andinos de Centro América y el norte de los Andes (Zizka *et al.*, 2018). En términos de la dominancia, para la Amazonia, por ejemplo, la hiperdominancia está entre 1.4% y 1% respecto a densidad de árboles y biomasa, respectivamente (Fauset *et al.*, 2015; Ter Steege *et al.*, 2013); esto supone que, a pesar de la dominancia de algunas especies, siguen

siendo raras. En los Andes, por su parte, las especies que albergan más del 50% de los individuos totales pueden alcanzar hasta el 5.32% (Restrepo *et al.*, 2016). Este alto nivel de riqueza de especies contribuye a maximizar la provisión de servicios ecosistémicos esenciales (Marselis *et al.*, 2020).

En los bosques, la mayoría de las plantas son árboles, representando la densidad más alta de individuos vegetales: de los 3.04 trillones de árboles que se estima existen en el mundo, el 42.8% está en los bosques tropicales; el 21.8%, en bosques templados y el 24.2%, en bosques boreales. Sin embargo, el equilibrio de estos ecosistemas se ha reducido, dado que aproximadamente el 46% del número total de árboles ha desaparecido desde la llegada de la humanidad al mundo (Crowther *et al.*, 2015), desbalanceando la función de los ecosistemas en la mitigación del cambio climático global (Phillips *et al.*, 2009; Steidinger *et al.*, 2019; Sullivan *et al.*, 2020);

1. El artículo se elaboró a partir de la participación de Zoraida Restrepo Correa en el conversatorio virtual "Especies Polinizadoras, Multiplicadores de Vida", realizado en Medellín, el 16 de septiembre de 2020, y organizado por la Fundación Con Vida, la Corporación COL-TREE y la Asociación de Biólogos de la Universidad de Antioquia (ASBIUDEA). El enlace para acceder al conversatorio es: <https://www.facebook.com/fundacion.c.vida/videos/971505403318914>

2. Ingeniera Forestal. Estudiante PhD Ingeniería Ambiental. Investigadora del Grupo de Servicios Ecosistémicos y Cambio Climático -SECC-. Directora de la Corporación COL-TREE. zetarestrepo@gmail.com

3. Tecnóloga Ambiental. Estudiante de Ingeniería Ambiental. Investigadora del Grupo de Servicios Ecosistémicos y Cambio Climático. luduquespp@gmail.com

4. Biólogo, Universidad de Antioquia. Magíster en Bosques y Conservación Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Investigador Grupo de Investigación en Servicios Ecosistémicos y Cambio Climático -SECC-. Cofundador y Codirector de la Fundación Con Vida. Cofundador y Director de la Revista Ambiental ÉOLO. www.fconvida.org

ya que los árboles, mediante el proceso de la fotosíntesis, capturan el gas carbónico, liberan el oxígeno y, a través de la evapotranspiración, enriquecen con vapor de agua la atmósfera.

Pero eso no es todo, pues los humanos dependemos de la continuidad de la existencia de los árboles -aunados en miles de millones de individuos que estructuran los bosques- especialmente para regular el clima del planeta, contener la erosión, mantener el ciclo hidrológico, y conservar los componentes y mecanismos de la diversidad y diversificación biológica que fundamentan la biósfera, la cual estamos destruyendo de manera desafortunada, a pesar de estar intrínsecamente conectados con ella.

Reproducción sexual, polinización y diversidad arbórea de bosques tropicales

¿Cómo es la vida de un árbol? Estas plantas de gran tamaño, con un tronco leñoso en el medio y múltiples ramas y hojas que forman una copa, son seres con una vida que puede ser muy larga: algunos viven miles de años, creciendo con mucha lentitud (Stephenson *et al.*, 2014), anclados en un espacio que a menudo ni siquiera han seleccionado -donde pueden permanecer en modo bonsái hasta que las condiciones sean favorables para alcanzar su tamaño adecuado- y sin posibilidad alguna de huir de sus consumidores y parásitos. El metabolismo y la reproducción son las principales herramientas de los árboles para poder mantenerse vivos, por lo que han optado por establecer complejas interacciones ecológicas y numerosas alianzas con otros organismos, principalmente de otras especies y reinos; es decir, relaciones armónicas

intra e interespecíficas (Wohlleben, 2016), a partir, claro está, de todos sus requerimientos de vida metabólicos y reproductivos.

En el caso de la reproducción sexual, para la mayoría de las plantas está relacionada con la polinización cruzada, realizada por vectores naturales diferentes al viento, como los polinizadores animales, mucho más específicos para desempeñar esta función ecológica. Así, la generalidad de las plantas, incluidos los árboles, necesitan de los animales para reproducirse (Charles *et al.*, 2004); es decir, para realizar la fecundación y la dispersión de los frutos, y dado que la vida en el bosque es competitiva, las relaciones entre árboles y animales polinizadores suelen ser muy elaboradas y específicas (Schiestl & Johnson, 2013).

En la diversificación y evolución de las plantas, en especial de las Angiospermas (*Magnoliophyta*) o plantas con flores, los insectos, principalmente los Coleópteros, han jugado un papel determinante (Mitchell *et al.*, 2009). Aunque las plantas son anteriores en la historia de la vida a los grupos de insectos, solo hasta que estos encontraron una fuente de múltiples servicios en las flores y empezaron a polinizar angiospermas, estas comenzaron a dominar los bosques del mundo; y en conjunto, insectos y plantas, al parecer, están jugando un gran papel en relaciones mutualistas que les permiten compartir la evolución o, en otras palabras, coevolucionar (Van der Kooi & Ollerton, 2020).

Gracias al conocimiento de la fecundación cruzada de plantas mediada por animales polinizadores o dispersores de semillas, entre otras relaciones específicas de las plantas, es posible comprender la existencia y proceden-

cia de la gran diversidad de especies de árboles que se registra en los bosques tropicales (Bawa, 1990; Moreira & Freitas, 2020). En este proceso ecológico evolutivo, los insectos, específicamente los Coleópteros, son muy relevantes, ya que son el grupo más abundante y diverso entre los animales, y el que más interacciones realiza y posibilita con las plantas. Por lo tanto, las interacciones evolutivas de estos gigantescos y megadiversos grupos de animales invertebrados pueden estar determinando la diversificación de los árboles de los bosques tropicales (Kirejtshuk & Couturier, 2010; Phillips *et al.*, 2020; Van der Kooi & Ollerton, 2020).

La polinización es, precisamente, la capacidad que tienen las plantas de transportar el polen desde los estambres (gametos masculinos) hasta el estigma (gameto femenino), parte receptiva de la flor, donde germinan y fecundan los óvulos, haciendo posible la producción de semillas y frutos. Para lograr este maravilloso portento solo hay dos vías: ya sea a través de elementos naturales abióticos como el agua, la gravedad y, especialmente, el viento; o de vectores biológicos en los que priman sobremanera los animales y, de modo principal, los insectos, en lo que se conoce como polinización cruzada (Faegri, 1979).

Para que ocurra la polinización cruzada mediada por vectores animales, como los insectos, los individuos de las especies polinizadoras tienen que cumplir tres requisitos insoslayables (Faegri, 1979):

1. Idoneidad para realizar a cabalidad la función singular que les corresponde, porque prima la calidad en la interacción específica con las flores, lo cual implica para el

animal adaptaciones morfológicas, fisiológicas y etológicas o comportamentales, generadas a través de un largo proceso coadaptativo específico con las flores de la especie que polinizan.

2. Presencia constante a lo largo del tiempo (días, años, siglos, miles y millones de años); es decir, que las especies polinizadoras estén en el entorno de la planta en todos los instantes.

3. Población conformada por enormes cantidades de individuos, ya que la polinización suele ser adecuada si los polinizadores llegan en grandes conjuntos.

Cumplidas las anteriores condiciones para que la polinización sea de calidad, la sincronía debe ser perfecta, ya que el polinizador tiene que ser efectivo en llegar cargado de polen a una flor femenina cuyo óvulo esté receptivo. De otro modo, el acto es fallido (Dellinger *et al.*, 2018; Kirejtshuk & Couturier, 2010; Waser *et al.*, 2008).

Así pues, la polinización mediada por vectores animales no puede ser efectuada por un solo individuo que tan solo llegue una vez a la flor.

En el Gráfico 1 se representan varios aspectos de la llegada de polinizadores a un grupo de plantas, con base en un estudio realizado en Medellín sobre el conteo de visitantes florales y su función en la polinización cruzada de diferentes plantas; evaluando quiénes, cuántos y cada cuánto tiempo llegaban los polinizadores a las plantas, qué cantidad de polen podía estar cargando cada uno y cuántas visitas realizaban a diferentes plantas. Al comparar los diferentes grupos representados en el gráfico, observamos las relaciones entre

llegada y cargas polínicas diferenciadas por especies: algunos llegan muy poco, en tanto que otros visitan diferentes especies; sin embargo, son más eficientes cuando llegan cargados de miles de granos de polen (representados por el tamaño de las barras). Ahora bien, lo que significa una llegada abundante es muy relativo: en el caso de los insectos, la

profusión implica el arribo de entre 5.000 y 20.000 individuos a una sola inflorescencia; en lo atinente a los colibríes y murciélagos, llegar en abundancia puede significar que un número adecuado de individuos de la especie arribe una vez, en el momento más indicado, y permanezca presente a lo largo de mucho tiempo (Restrepo *et al.*, 2016).

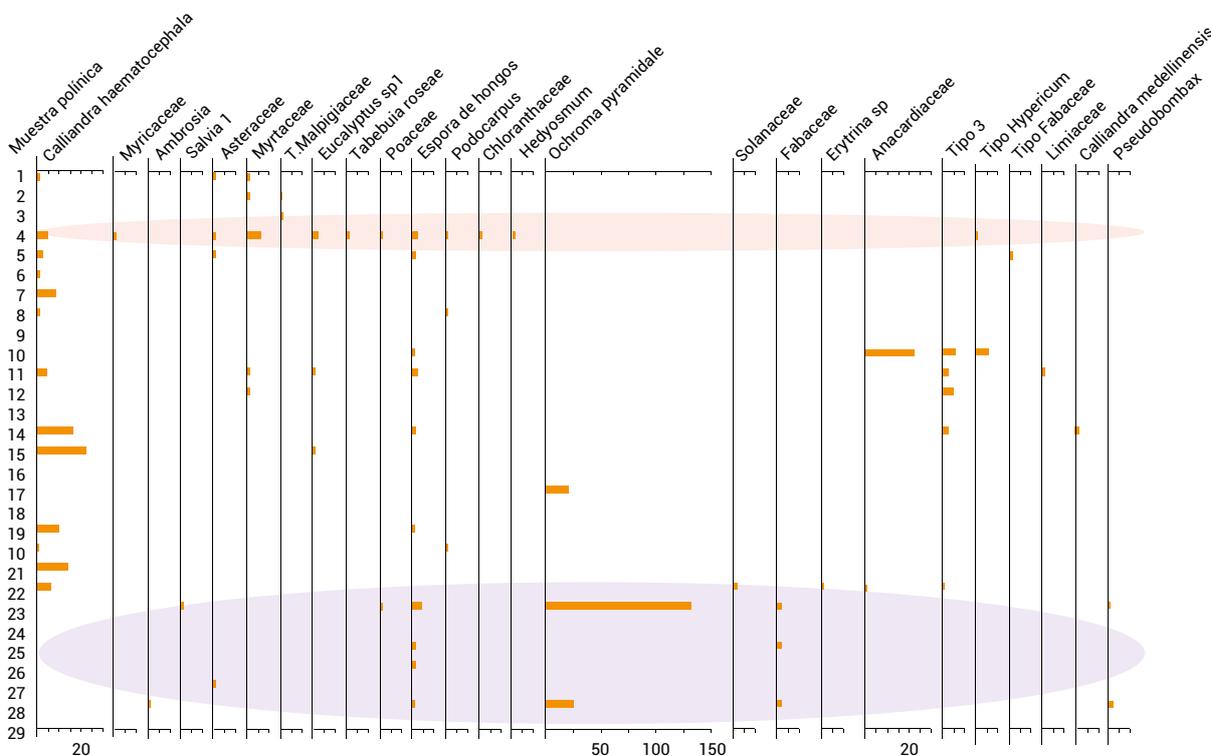


Gráfico 1. Palinograma de los principales taxones, obtenido en muestras de insectos y murciélagos colectados en flores de árboles. El eje 'y' representa 29 especies de diferentes visitantes florales; las barras son el conteo absoluto de granos de polen de cada una de las especies de plantas que un vector puede cargar.

En la Ilustración 1 se muestra la polinización de palmas por Coleópteros que llegan a una sola inflorescencia en gigantescas cantidades, de hasta 100.000 individuos de la familia Nitidulidae, género *Mystrops*. Además de saber llegar, permanecer a lo largo del tiempo

y arribar en grandes cantidades, es indispensable la calidad o eficiencia en la polinización, que equivale a la llegada oportuna en el momento indicado para que el polen se conecte con gametos femeninos en estado receptivo.



Ilustración 1. Registro de miles de individuos Visitantes-Polinizadores de la familia Nitidulidae, género *Mystrops*, en flores de palmas (Arecaceae) en los bosques de Colombia.

Estrategias para fidelizar polinizadores

Todos los animales polinizadores -insectos, colibríes, murciélagos y mamíferos terrestres- buscan las flores porque quieren alimentarse, copular y, básicamente, vivir (Mitchell *et al.*, 2009). Las plantas con flores tienen que adaptarse a estas relaciones ecológicas en su lento proceso evolutivo y adecuar sus estructuras, comportamientos, fisiologías y metabolismos, para generar productos muy específicos que satisfagan las necesidades vitales de los animales que las visitan, de modo tal que, al mismo tiempo, estos realicen de la manera más efectiva posible la función reproductiva sexual de la polinización (Dellinger *et al.*, 2018; Moreira & Freitas, 2020; Yamamoto *et al.*, 2007). Y dado que los vegetales, literalmente, no pueden desplazarse, aunque realizan muchos otros movimientos en sus partes, han tenido que desarrollar estrategias para poder cumplir con sus múltiples propósitos vitales (Wohlleben, 2016).

Las plantas atraen y fidelizan a sus polinizadores, básicamente, utilizando la estrategia de conformar sus flores como una despensa de alimentos que los recompensan con una generosa oferta de suministros, principalmente

néctar y polen (Mitchell *et al.*, 2009). Las cantidades y concentraciones de estos magníficos alimentos energéticos varían de acuerdo con las relaciones y condiciones de los vegetales y sus vectores de polinización. Por ello, son muy diversas las variedades de estos atrayentes compensatorios de polinizadores, tanto de la solución acuosa azucarada con aminoácidos, iones minerales y sustancias aromáticas que constituye el néctar; como, obviamente, de los gametos masculinos que conforman el polen (Bawa, 1990). Las resinas, esencias y aceites requeridos por algunos visitantes son, también, entre otros productos muy elaborados, ofertados por las plantas a sus vectores sexuales reproductivos (Tölke *et al.*, 2020). Lo cierto es que los vegetales desarrollan un juego de señales, entre ofrecer y engañar a sus visitantes, para cumplir el objetivo de reproducirse (Sun *et al.*, 2018).

Ahora bien, para alcanzar el fin de la reproducción, parece ser que la generación y expansión de aromas -a través del incremento significativo de la temperatura de las flores, por encima de la del ambiente (Seymour & Matthews, 2006)- es lo más eficiente, pues aumenta la atracción de los polinizadores y

fidelize las visitas; por tanto, logra garantizar la reproducción sexual (Tölke *et al.*, 2020). Respecto a los aromas, hay dos tipos de plantas: las generalistas, que producen fragancias para atraer un amplio espectro de polinizadores; y las supremamente especializadas, uno de cuyos aromas puede constituir el 90% de los volátiles que produce, específico para que su polinizador principal lo tenga gravado en su memoria, de modo tal que la relación coadaptativa establecida entre las especies de planta y animal haya generado interacciones especialistas (Fenster *et al.*, 2004; Moreira & Freitas, 2020). Ambas estrategias son muy efectivas en la fidelización coadaptativa, determinando si una especie es específica o generalista, y estableciendo, precisamente, las elecciones estratégicas reproductivas sexuales entre plantas y animales (Schiestl & Johnson, 2013).

En relación con la temperatura, las flores la aumentan para generar y dispersar el aromático volátil. Por ejemplo, varias especies de Araceae pueden aumentar la temperatura de la flor en más de 20°C por encima de la temperatura ambiente (Ivancic *et al.*, 2008). La consecuencia es la evaporación y difusión del volátil, a cuya presencia responde el animal, que, atraído hacia la fuente de emisiones, llega allí y encuentra un ambiente cómodo, caliente, estimulante y propicio para comer y copular; luego, tras impregnarse de polen, sale y lo lleva hacia una flor femenina, que lo engaña por el mismo efecto del volátil y la temperatura; pero el insecto, una vez llega allí, deja el polen y se marcha rápidamente, ya que no encuentra mucho alimento (Saunders, 2012; Wang *et al.*, 2014).



Relaciones de reproducción sexual entre árboles y animales

Para reproducirse, los árboles necesitan que sus flores sean polinizadas, bien por animales polinizadores mediante el proceso denominado polinización cruzada o a través de la polinización realizada por el viento, que se lleva a cabo en tan solo el 5% de las especies arbóreas del neotrópico (Van der Kooi & Ollerton, 2020). Al respecto, destacamos el roble colombiano o roble andino (*Quercus humboldtii*), árbol de la familia Fagaceae, cuya polinización es mediada por las corrientes eólicas. Esta especie es una de las más dominantes de los bosques andinos, a tal punto que hay formaciones vegetales, denominadas robleales, donde la dominancia es exclusiva de estos majestuosos individuos frondosos. Al parecer, es muy efectiva su muy simple estrategia reproductiva de lograr la polinización

arrojando los granos de polen al aire para que las corrientes de viento los transporten hacia los gametos femeninos (Fernández & Sork, 2005).

A partir del trabajo que efectúa la Red Colombiana de Monitoreo de Bosques -COL-TREE- sobre los vectores de polinización que tienen los árboles en Colombia (Col-Tree, s.f.), observamos que, en general, cada especie ne-

cesita un vector diferente, lo cual es concordante con la información internacional sobre la diversidad arbórea de las Américas, principalmente en los trópicos. Nuestros análisis preliminares sobre síndromes de polinización dan cuenta de que el 95% de los árboles necesita de vectores biológicos para reproducirse, tal y como podemos observar en el Gráfico 2 y como se ha documentado a lo largo de estudios sobre este tema (Ollerton et al., 2009).

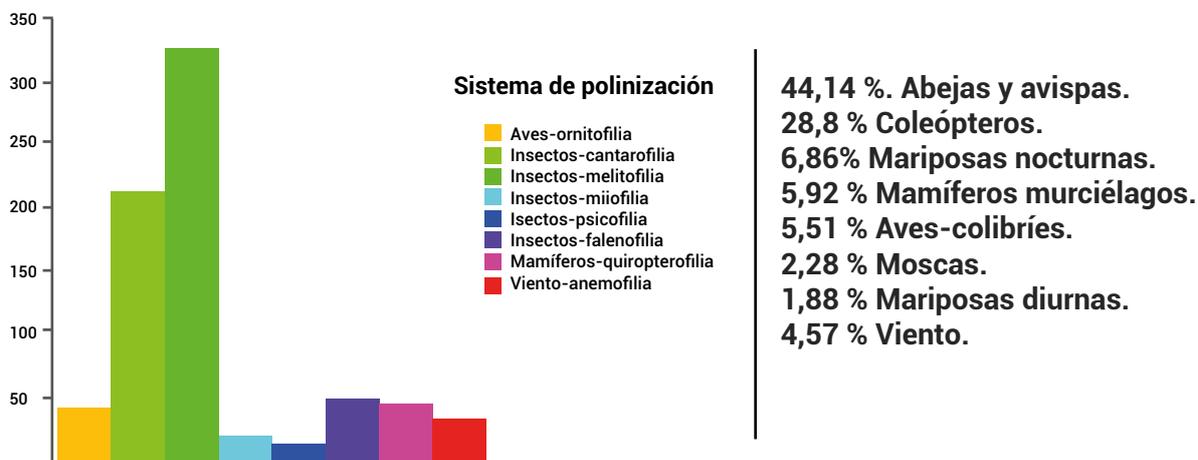


Gráfico 2. Representatividad de los síndromes de polinización en los árboles de los bosques de Colombia.

Aunque se han adelantado pocos estudios directos sobre la polinización de los árboles, colectas realizadas en diferentes partes de Colombia (Col-Tree, s.f.) muestran que el grupo que ejerce la función reproductiva como polinizador principal es el de los insectos Coleópteros, popularmente conocidos como cucarrones. En los Andes, por ejemplo, las especies de este orden, de la clase Insecta, constituyen el principal polinizador para los árboles. Entre los grupos más relevantes de Coleópteros polinizadores de árboles en los Andes, presentamos a continuación las tres familias más importantes:

1. Familia Nitidulidae, de la Superfamilia Cucujoidea, cuyos individuos son de tamaño

reducido y colores oscuros. Varios géneros Nitidúlidos son polinizadores de muchas especies vegetales de diversas familias, entre las que se destacan Magnoliaceae (Wang et al., 2014) por la gran cantidad de tipos de árboles polinizados; y Anonácea (Saunders, 2012) en la que es necesario resaltar los frutales cultivados de guanábana (*Annona muricata*), anón (*Annona squamosa*) y chirimoya (*Annona cherimola*), muy apreciados por la sabrosura de sus frutos y sus propiedades anticancerígenas. El género *Mystrops* es uno de los más importantes polinizadores de esta familia; muchas de sus especies están directamente relacionadas con la polinización de las Palmas y, al parecer, todo indica que

solo en estas plantas es posible encontrar especímenes de este grupo de insectos (Kirejtshuk & Couturier, 2010). Un ejemplo es el de los polinizadores del árbol nacional de Colombia, la palma de cera (*Ceroxylon quindiuensis*) (Saunders, 2012).

2. Familia Curculionidae, cuyos miembros son conocidos como gorgojos y picudos. Aunque considerados potencialmente dañinos para los cultivos, junto a otros grupos cumplen una función bastante importante en la polinización. Al respecto, se destacan las especies de la tribu *Acalyptini* (aproximadamente 270 especies descritas, agrupadas en 41 géneros), quienes, además de las Ciclantáceas, polinizan a una gran cantidad de especies de árboles de los Andes (Franz & Valente, 2005); entre ellas, a muchas especies de la familia Melastomataceae, especialmente de los géneros *Miconia* y *Tibouchina*, que se distribuyen por las zonas tropicales de todo el mundo, con dos tercios de los géneros en América.

3. Familia Staphylinidae, una de las más numerosas de *Coleópteros polífagos*. Aunque la mayoría de las 63.000 especies descritas de Estafilínidos son depredadoras y carroñeras, algunas cumplen funciones de polinización en muchas plantas y, específicamente, en los árboles de los Andes.

Por otro lado, entre los grupos más importantes de polinizadores arbóreos se encuentran las abejas y avispas nativas, entre las que se destacan las Meliponas (Apidae Meliponinae) o abejas sin aguijón, con aproximadamente 120 especies registradas en Colombia; y el grupo de abejones y abejorros, que sobresalen entre los polinizadores para nuestras es-

pecies de árboles (Dellinger *et al.*, 2018; Rasplus *et al.*, 2010). En el caso específico de *Apis mellifera*, conocida como abeja europea o doméstica, la especie con mayor distribución en el mundo y la más utilizada en la apicultura -por la abundante, deliciosa y muy exquisita miel que produce-, es una especie que no poliniza los árboles nativos de Colombia porque es supremamente generalista; por otra parte, compite por recursos y manifiesta un comportamiento agresivo hacia las especies de abejas polinizadoras nativas, desplazándolas (Agüero *et al.*, 2018).

Además de los Coleópteros, otros pequeños insectos también desempeñan funciones muy importantes en la polinización específica de nuestras familias de árboles, a saber, los mosquitos (orden Díptera), las mariposas y polillas (orden Lepidóptera), y las hormigas (familia Formicidae, orden Himenóptera) (Moreira & Freitas, 2020).

Entre los principales grupos de animales polinizadores de los árboles también se destacan los mamíferos, específicamente los quirópteros o murciélagos de las familias Phyllostomidae y Glossophaginae (Kunz *et al.*, 2011); algunos roedores cumplen esta función en especies del género *Meriania*, de la familia Melastomataceae (Dellinger *et al.*, 2018). Entre las aves, los colibríes (familia Trochilidae, del orden de los Apodiformes) son las especies más conspicuas y reconocidas en el arte de la polinización cruzada en el neotrópico (Perret *et al.*, 2001); para los árboles andinos, estos grupos juegan también un importante rol en la reproducción y permanencia de las poblaciones viables de nuestros bosques (ver Gráfico 3).

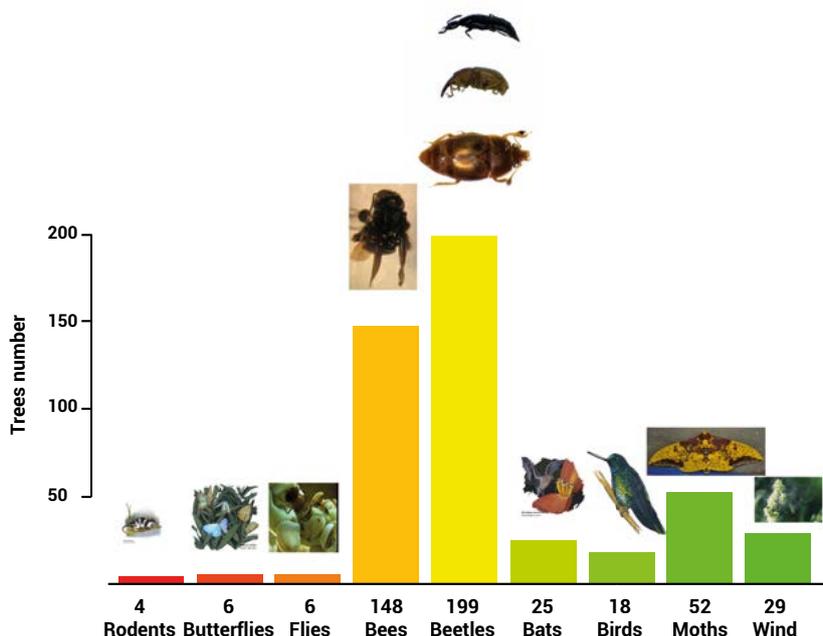


Gráfico 3. Representatividad de los Síndromes de polinización de los árboles andinos de Colombia.

Especialistas vs Generalistas

En las relaciones interespecíficas entre plantas y animales para la realización de la polinización, se presentan muchas interacciones que se pueden simplificar en dos tipos generales. La de polinizadores muy especializados que solo visitan una especie, un tipo de género, de familia, o de flor o inflorescencia. Y los polinizadores de amplio espectro, que visitan especies de diferentes familias y flores de variados tipos. Entre los árboles, las adaptaciones corresponden, concordantes con la gran diversidad de especies, a muy diversas estrategias, desde muy especialistas hasta ampliamente generalistas (Bawa, 1990).

Para ejemplificar la complejidad de las relaciones entre zoovectores polinizadores y vegetales, tomemos el caso de la polinización de las especies del género *Wettinia* (familia *Arecaceae*), que se conocen como palmas macanas, las cuales, en la estructura del

bosque, ocupan el dosel, y se encuentran en las selvas de Centro y Sur América, desde el Amazonas hasta los Andes. La mayor diversidad de especies de macanas en toda Latinoamérica se registra en Colombia (Galeano & Bernal, 2010).

Los resultados de la investigación para determinar si los polinizadores de *Wettinia* son o no específicos (Restrepo *et al.*, 2016) permiten corroborar que este grupo de palmas es polinizado por especies del género *Mystrops* (Nitidúlidos) y que, posiblemente, la polinización de cada especie de *Wettinia* es realizada por una especie particular del género, que visita solamente esa planta. La especificidad de estas relaciones ecológicas mutualistas parece indicar que los Nitidúlidos están determinando la diversificación de las especies de *Wettinia*, ya que en este grupo de palmas las especies más antiguas son las que menos comparten especies de polinizadores insectiles; en tanto que las

especies más recientes son las que más comparten polinizadores, como si todavía no se hubieran separado completamente en la diversificación.

Una clase de polinización bastante interesante es la que se presenta en las especies de grandes y antiguos árboles (en cuanto al origen evolutivo) del género *Magnolia*, de la familia Magnoliaceae, polinizadas por insectos Coleópteros del género *Cyclocephala* (familia Melolonthidae, subfamilia Dynastinae): uno de los tipos de las plagas conocidas como chisas, asociadas a los cultivos de plantas en todos los ecosistemas de Colombia. Esta circunstancia es desafortunada, porque estos insectos son bastante interesantes debido a sus muy grandes obsesiones con la polinización de un gran número de árboles y otras plantas, como las de la familia Araceae, muy utilizadas en jardinería y floristería, y entre las cuales hay unas especies especializados en este grupo específico de Coleópteros (Ivancic *et al.*, 2008). La polinización de estos insectos está determinada por la atracción a través de la termogénesis (calentamiento de las flores) y las esencias específicas de cada especie (Gottsberger *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2014).

La polinización en las especies de la familia Lecythidaceae es realizada por insectos y murciélagos (Mori, 2013). En el neotrópico, esta familia está representada por árboles que ocupan los estratos superiores, principalmente en los bosques húmedos tropicales, donde son abundantes y diversos; predominan principalmente en la Amazonia y en las zonas bajas, aunque algunos géneros se han adaptado a las montañas de los Andes; y en su mayoría son exclusivos de bosques antiguos, con buena estructura y buen estado de conservación, mientras que muy

pocas especies son capaces de reproducirse en hábitats perturbados. Además de su abundancia y diversidad, los Lecythidaceae tienen un papel ecológico importante como fuente de alimento de polinizadores y dispersores (aves, mamíferos y peces), que consumen su pulpa o su semilla, de gran valor alimenticio y energético (Calderón *et al.*, 2002). Las flores de Lecythidaceae son visitadas por toda clase de abejas, que son recompensadas por dos tipos de polen, uno que germina y otro que no.

La especie más conocida, porque sus semillas son apreciadas mundialmente, es la Nuez de Brasil (*Bertholletia excelsa*), polinizada por abejas del género *Xylocopa*, conocidas como abejorros de la madera o abejorros carpinteros (Bawa, 1990). También las semillas o los frutos de otras especies son comestibles. En otras especies, el síndrome de polinización es el de la quiropterofilia, es decir, son polinizadas por quirópteros o murciélagos, como es el caso del género *Lecythis*: grandes árboles de los bosques de tierras bajas (Mori, 2013).

En el otro extremo de las estrategias adaptativas para la reproducción sexual, están las especies de plantas adaptadas para realizar una polinización generalista fundamentada en las visitas de muchos tipos de zoovectores. Tal es el caso de algunas especies leguminosas del género *Calliandra*, cuyas flores permiten la llegada de diversos tipos de insectos y de murciélagos, a los que prefieren, ya que en su caso estos mamíferos son más eficientes como polinizadores. Al parecer, la planta conserva la garantía de que, si falla su vector polinizador preferido, ella se puede seguir reproduciendo, aunque en menor cantidad, con los otros vectores

animales, a los cuales se adaptaría con el tiempo, si las contingencias del proceso evolutivo lo permiten (Herández-Conrique et al., 2007; Restrepo et al., 2016).

Cabe resaltar el género *Inga*, dentro de la familia Fabaceae (Mimosoideae), un grupo muy diverso de árboles leguminosos de todos los trópicos, principalmente de zonas bajas, polinizados en general por murciélagos (Cajas-Castillo, 2005); a esta interacción se atribuye la gran diversidad que caracteriza este género, en el cual se presentan relaciones muy estrechas entre tipos particulares de murciélagos que polinizan las flores de diversas especies de *Inga*. Muchas de las especies de este género se conocen en Colombia con el nombre de guamos, el más famoso y utilizado de los cuales es *Inga edulis* (distribuido desde México hasta el sur de América), ya que se conserva, reproduce y siembra para garantizar el sombrío de los cultivos de café (*Coffea arabica*, familia Rubiaceae) y asegurar la fijación de nitrógeno en los suelos; además, también se utiliza como madera y leña, y se consumen las pulpas de sus infrutescencia. La mayor diversificación de este género se presenta en el neotrópico y el número más alto de especies diferentes se registra en Colombia.

El cafeto (*Coffea arabica*) que se cultiva en Colombia y en la mayoría de países caficultores del mundo es muy plástico y adaptativo en términos de polinización, ya que se puede polinizar tanto por el viento como por zoovectores. La calidad del café, la bebida que se obtiene a partir de los granos (semillas) tostados y molidos de los frutos del cafeto, está determinada por la variedad, el tipo de polinización, el sombrío y la altitud del cultivo. Un efecto comprobado de la

polinización cruzada en este cultivar es el de la obtención de un café de mejor calidad en el aroma, el sabor y las demás variables que tienen que ver con la exquisitez de esta bebida estimulante, tal y como lo han demostrado varios artículos (Agüero et al., 2018; Rader et al., 2016; Tylanakis, 2013). En estas plantas, esta clase de polinización es realizada por insectos, principalmente varias especies de abejas Meliponas, algunas especies de mariposas nocturnas conocidas como polillas y también moscas.

De todo lo expresado hasta ahora podemos concluir que la concomitante y gran diversidad vegetal y animal en los bosques tropicales y en los Andes está determinada mayormente por los procesos de la polinización cruzada, en la que los polinizadores, por ejemplo, los insectos, realizan elecciones de flores según sus necesidades reproductivas y apetencias alimentarias; y las plantas hacen esfuerzos muy grandes para fidelizarlos, poder tener una polinización adecuada y garantizar la reproducción.

En síntesis, y sobre los procesos coevolutivos reproductivos sexuales que se desarrollan entre plantas y animales en la cordillera de los Andes y en la Amazonia, priman muchas interacciones específicas vigentes entre animales, por un lado, y familias y géneros de plantas, por el otro, indicando que en muchas relaciones ecológicas todavía no se ha dado una separación completa en la polinización y que las especies continúan en el proceso de seleccionar a sus pares específicos (Franz & Valente, 2005; Saunders, 2012; Schiestl & Johnson, 2013; Van der Kooi & Ollerton, 2020).

Respecto a la reproducción de los bosques nativos, la interacción específica entre plantas y polinizadores está mediada en muchos casos por Coleópteros, insectos que

pueden estar determinando en buena parte la continuidad de las selvas y la dinamización e incremento del proceso de biodiversificación, al menos, en los bosques tropicales de América.

Crisis mundial de la polinización

La polinización cruzada es un servicio ecosistémico indispensable para la reproducción de la mayoría de las plantas. En el neotrópico, el 95% de las especies vegetales requiere de la permanencia de esta función ecológica (Moreira & Freitas, 2020), en muchos casos tan especializada que configura una relación mutualista que puede interpretarse como una pseudosimbiosis. Empero, las producciones de frutos, semillas y nuevas plantas de muchas especies cultivadas y silvestres están siendo cada vez más amenazadas debido al grave y acelerado deterioro de las poblaciones y especies de polinizadores, expresado en rápidos procesos de extinción, ocasionados por el uso masivo e indiscriminado de biocidas, la destrucción de hábitats y el incremento, letalidad y expansión de muy diversas formas de contaminación.

Este triste panorama para los polinizadores se torna aún más sombrío con la introducción de especies desde otros continentes y ecosistemas, que depredan, transmiten enfermedades, compiten por nichos alimentarios y desplazan poblaciones de especies nativas que realizan la función polinizadora. Esta perturbadora amenaza se concreta, muy comúnmente y desde hace muchas décadas, en la exagerada introducción de la abeja europea *Apis mellifera* en casi todos los apiarios de nuestros ecosistemas, generando e incrementando la afectación, por competencia, de polinizadores como las abejas Meliponas, tan indispensables para la

reproducción de muchas especies vegetales nativas, en las cuales la polinización tiene que ver directamente con el tamaño del polinizador; por eso, aunque *Apis mellifera* tenga la capacidad de polinizar, no puede realizar esta función en muchas especies; simplemente, su estructura y dimensión corporal no se lo permiten.

Referencias bibliográficas

Agüero, J., Rollín, O., Torretta, J., Aizen, M., Requier, F. & Garibaldi, L. (2018).

Honey bee impact on plants and wild bees in natural habitats. *Ecosistemas*, 27(2), 60-69. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1365>

Bawa, K. (1990). Plant-Pollinator Interactions In Tropical. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 21, 399-422.

Cajas-Castillo, J. (2005). Polen transportado en el pelo de murciélagos nectarívoros en cuatro bosques secos de Guatemala [Trabajo de grado. Universidad de San Marcos de Guatemala].

Calderón, E., Galeano, G. & García, N. (2002). Libro rojo de plantas fanerógamas de Colombia (Vol. 1). Chrysobalanaceae, Dichapetalaceae y Lecythidaceae. Instituto Alexander Von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia y Ministerio de Medio Ambiente.

Charles, F., Armbruster, W., Wilson, P., Dudash, M., & Thomson, J. (2004). Pollination Syndromes and Floral Specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(1), 375-403. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132347>

Col-Tree (s.f.). Interacción Planta Animal. Col-Tree. <https://coltree.com.co/interaccion-planta-animal/>

Crowther, T., Glick, H., Covey, K., Bettigole, C., Maynard, D., Thomas, S., Smith, J., Hintler, G., Duguid, M., Amatulli, G., Tuanmu, M.-N., Jetz, W., Salas, C., Stam, C., Piotta, D., Tavani, R., Green, S., Bruce, G., Williams, S., ... Bradford, M. (2015). *Mapping tree density at a global scale.* *Nature*, **525(7568)**. <https://doi.org/10.1038/nature14967>

Dellinger, A. S., Chartier, M., Fernández-Fernández, D., Penneys, D., Alvear, M., Almeda, F., Michelangeli, F., Staedler, Y., Armbruster, S. & Schönenberger, J. (2018). Beyond buzz-pollination – departures from an adaptive plateau lead to new pollination syndromes. *New Phytologist*, **221(2)**, 1136-1149. <https://doi.org/10.1111/nph.15468>

Faegri, K. (1979). *The Principles of Pollination ecology.* Pergamon Press.

Fauset, S., Johnson, M., Gloor, M., Baker, T., Monteagudo, A., Brienen, R., Feldpausch, T., López-González, G., Malhi, Y., Ter Steege, H., Pitman, N., Baraloto C., Engel, J., Pétronelli, P., Andrade, A., Camargo, J., Laurance, S., Chave, J., Allie, E., ... Phillips, O. (2015, april). Hyperdominance in Amazonian forest carbon cycling. *Nature Communications*, **6**. <https://doi.org/10.1038/ncomms7857>

Fenster, C., Armbruster, W., Wilson, P., Dudash, M. & Thomson, J. (2004). Pollination Syndromes and Floral Specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **35(1)**, 375-403. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132347>

Fernández-M, J. & Sork, V. (2005). *Mating patterns of a subdivided population of the andean oak (Quercus humboldtii Bonpl., Fagaceae).* *The Journal of Heredity*, **96(6)**, 635-643. <https://doi.org/10.1093/jhered/esi104>

Franz, N. & Valente, R. (2005). Evolutionary trends in derelomine flower weevils (Coleoptera: Curculionidae): from associations to homology. *Invertebrate Systematics*, **19(6)**, 499-530.

Galeano, G. & Bernal, R. (2010). *Palmas de Colombia. Guía de campo.* Universidad Nacional de Colombia.

Gottsberger, G., Silberbauer-Gottsberger, I., Seymour, R. & Dötterl, S. (2012). Pollination ecology of *Magnolia ovata* may explain the overall large flower size of the genus. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, **207(2)**, 107-118. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.11.003>

Hernández-Conrique, D., Ornelas, J., García-Franco, J. & Vargas, F. (2007, July). Nectar Production of *Calliandra longipedicellata* (Fabaceae: Mimosoideae), an Endemic Mexican Shrub with Multiple Potential Pollinators. *Biotropica*, **39(4)**, 459-467.

Ivancic, A., Roupsard, O., García, J., Melteras, M., Molisale, T., Tara, S. & Lebot, V. (2008). Thermogenesis and flowering biology of *Colocasía gigantea*, Araceae. *Journal of Plant Research*, **121(1)**, 73-82. <https://doi.org/10.1007/s10265-007-0129-5>

Kirejtshuk, A. & Couturier, G. (2010). Sap beetles of the tribe mystropini (Coleoptera: Nitidulidae) associated with south american palm inflorescences. *Annales de la Société entomologique de France*, **46(3-4)**, 367-421. <https://doi.org/10.1080/00379271.2010.10697676>

Kunz, T., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T. & Fleming, T. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1223**, 1-38. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>

- Marselis, S., Abernethy, K., Alonso, A., Armston, J., Baker, T., Bastin, J.-F., Bogaert, J., Boyd, D., Boeckx, P., Burslem, D., Chazdon, R., Clark, D., Coomes, D., Duncanson, L., Hancock, S., Hill, R., Hopkinson, C., Kearsley, E., Kellner, J., ... Dubayah, R. (2020).** Evaluating the potential of full-waveform lidar for mapping pan-tropical tree species richness. *Global Ecology and Biogeography*, 29(10), 1799-1816. <https://doi.org/10.1111/geb.13158>
- Mitchell, R., Irwin, R., Flanagan, R. & Karron, J. (2009).** Ecology and evolution of plant-pollinator interactions. *Annals of Botany*, 103(9), 1355-1363. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp122>
- Moreira, M. & Freitas, L. (2020).** Review of the Pollination System by Small Diverse Insects. *Neotropical Entomology*, 49, 472-481. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00779-6>
- Mori, S. (2013,).** The Brazil Nut Industry. Past, Presente, and Future. The New York Botanical Garden. Staff Research Projects and Project Web Pages. <https://www.nybg.org/bsci/braznut/BrazilNut.html>
- Ollerton, J., Alarcón, R., Waser, N., Price, M., Watts, S., Cranmer, L., Hingstn, A., Peter, C. & Rotenberry, J. (2009).** A global test of the pollination syndrome hypothesis. *Annals of Botany*, 103(9), 1471-1480. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp031>
- Perret, M., Chautems, A., Spichiger, R., Peixoto, M. & Savolainen, V. (2001).** Nectar Sugar Composition in Relation to Pollination Syndromes in *Sinningieae* (Gesneriaceae). *Annals of Botany*, 87, 267-273. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1331>
- Phillips, O., Aragão, L., Lewis, S., Fisher, J., Lloyd, J., López-González, G., Mahli, Y., Monteagudo, A., Peacock, J., Quesada, C., Heijden, G., Almeida, S., Amaral, I., Arroyo, L., Aymard, G., Baker, T., Bánki, O., Blanc, L., Bonal, ... Torres-Lezama, A. (2009).** Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science*, 323(5919), 1344-1347. <https://doi.org/10.1126/science.1164033>
- Phillips, R., Peakall, R., Van der Niet, T. & Johnson, S. (2020).** Niche Perspectives on Plant–Pollinator Interactions. *Trends in Plant Science*, 25(8), 779-793. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.03.009>
- Qian, H., Deng, T. & Sun, H. (2018).** Global and regional tree species diversity. *Journal of Plant Ecology*, 12(2), 210-215. <https://doi.org/10.1093/jpe/rty013>
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L., Garratt, M., Howlett, B. G., Winfree, R., Cunningham, S., Mayfield, M., Arthur, A., Andersson, G., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L., Chacoff, N., Entling, M., Foully, B., Freitas, B., Gemmill-Herren, B., ... Woyciechowski, M. (2016).** Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), 146-151. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112>
- Rasplus, J.-Y., Villemant, C., Paiva, M., Delvare, G. & Roques, A. (2010).** Hymenoptera. Chapter 12. *BioRisk*, 4(2), 669-776. <https://doi.org/10.3897/biorisk.4.55>
- Restrepo, Z., Nuñez, L., González-Caro, S., Vásquez-Puentes, F. & Baco, C. (2016).** Exploring palm – insect interactions across geographical and environmental gradients. *Botanical Journal of Linnean Society*, 182(2), 389-397.
- Saunders, R. (2012).** The diversity and evolution of pollination systems in *Annonaceae*. *Botanical Journal of Linnean Society*, 169, 222-244.

- Schiestl, F. & Johnson, S. (2013).** Pollinator-mediated evolution of floral signals. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(5), 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.01.019>
- Seymour, R. & Matthews, P. (2006).** The role of thermogenesis in the pollination biology of the Amazon waterlily *Victoria amazonica*. *Annals of Botany*, 98(6), 1129–1135. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl201>
- Steidinger, B., Crowther, T., Liang, J., Van Nuland, M., Werner, Reich, P., Nabuurs, G., de Miguel, S., Zhou, M., Picard, N., Herault, B., Zhao, X., Zhang, C., Routh, D., Peay, K. & GFBF consortium (2019).** Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest tree symbioses. *Nature*, 569, 404–408. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1128-0>
- Stephenson, N., Das, A., Condit, R., Russo, S., Baker, P., Beckman, N., Coomes, D., Lines, E., Morris, W., Rüger, N., Álvarez, E., Blundo, C., Bunyavejchewin, S., Chuyong, G., Davies, S., Duque, Á., Ewango, C., Flores, O., Franklin, H., ... Zavala, M. (2014).** Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size, (iDiv). *Nature*, 507, 90–93. <https://doi.org/10.1038/nature12914>
- Sullivan, M., Lewis, S., Affum-Baffoe, K., Castilho, C., Costa, F., Sánchez, A., Ewango, C., Hubau, W., Marimon, B., Monteagudo-Mendoza, A., Qie, L., Sonké, B., Vásquez Martínez, R., Baker, T., Brienen, R., Feldpausch, T., Galbraith, D., Gloor, M., Malhi, Y., ... Phillips, O. (2020).** Long-term thermal sensitivity of Earth's tropical forests. *Science*, 368(6493), 869–874. <https://science.sciencemag.org/content/368/6493/869>
- Sun, S., Leshowitz, M. & Rychtář, J. (2018).** The signalling game between plants and pollinators. *Scientific Reports*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24779-0>
- Ter Steege, H., Pitman, N., Sabatier, D., Baraloto, C., Salomão, R., Guevara, J., Phillips, O., Castilho, C., Magnusson, W., Molino, J.-F., Monteagudo, A., Núñez, P., Montero, J., Feldpausch, T., Honorio, E., Killeen, T., Mostacedo, B., Vásquez, R., Assis, R., ... Silman, M. (2013).** Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. *Science*, 342(6156), 325–329. <https://doi.org/10.1126/science.1243092>
- Tölke, E., Capelli, N., Pastori, T., Alencar, A., Cole, T. & Demarco, D. (2020).** Diversity of Floral Glands and Their Secretions in Pollinator Attraction. In J.-M. Mérillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Co-Evolution of Secondary Metabolites* (pp. 709–754). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6_48
- Tylianakis, J. M. (2013).** The Global Plight of Pollinators. *Science*, 339(6127), 1532–1533. <https://doi.org/10.1126/science.1235464>
- Van der Kooij, C. J., & Ollerton, J. (2020).** The origins of flowering plants and pollinators. *Science*, 368(6497), 1306–1308. <https://doi.org/10.1126/science.aay3662>
- Wang, R., Xu, S., Liu, X., Zhang, Y., Wang, J. & Zhang, Z. (2014).** Thermogenesis, flowering and the association with variation in floral odour attractants in *Magnolia sprengeri* (Magnoliaceae). *PLoS ONE*, 9(6), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099356>
- Waser, N., Chittka, L., Price, M., Williams, N. & Ollerton, J. (2008).** Generalization in Pollination Systems, and Why it Matters. *Ecology*, 77(4), 1043–1060. <http://www.jstor.org/stable/2265575>
- Wohlleben, P. (2016).** *The Hidden Life of Trees: What They Feel, How They Communicate*. Ludwig Verlag. <https://bit.ly/3s7dmM1>
- Yamamoto, L., Kinoshita, L. & Martins, F. (2007).** Síndromes de polinização e de dispersão em fragmentos da Floresta Estacional Semidecídua

Montana , SP, Brasil. Acta Botanica Brasilica, 21(3), 553-573.

Zizka, A., Ter Steege, H., Pessoa, M. do C. & Antonelli, A. (2018). Finding needles in the haystack: where to look for rare species in the American tropics. *Ecography*, 41(2), 321-330. <https://doi.org/10.1111/ecog.02192>



Cómo citar este artículo:

Restrepo Correa, Z., Duque Serna, L. & Muñoz Ciro, E. (2020). Bosques y Polinizadores: ¿Cómo se reproducen los árboles? *Revista Ambiental ÉOLO*, Edición Nro. 19, año 14, pág. 172-188. <http://revistaeolo.fconvida.org/index.php/eolo>