



Parte 3

Organismos edáficos y ciclos biogeoquímicos en cuatro coberturas vegetales de un agroecosistema de la Orinoquia

Resumen

La investigación se realizó en la granja agropecuaria de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, en el municipio de Villavicencio, entre las coordenadas 4°04'33.78" latitud norte y 73°34'49.50" longitud oeste a una altitud de 465 msnm, con una temperatura media anual entre 24 y 26 °C y una humedad relativa del 75 %. Se seleccionaron cuatro tipos de coberturas vegetales: bosque secundario, un agroecosistema de sabana de pastos introducidos, un cultivo de ciclo corto y cultivo perenne. Se tomaron cuatro monolitos de suelo de 20 x 20 cm, a una profundidad de 0-30 cm, sin retirar la hojarasca. El muestreo se hizo siguiendo la metodología de Anderson & Ingram (1993). El

número de individuos registrados en los cuatro tipos de coberturas vegetales fue de 1085 individuos por metro cuadrado (i.p.m²). La mayor riqueza de morfotipos se presentó en el bosque (36 morfoespecies), seguida de la sabana (16 morfoespecies) y el cultivo perenne (11 morfoespecies); mientras que la mínima prevaleció en el cultivo de ciclo corto, con ocho morfoespecies. En hongos, la especie más abundante fue *Schizophyllum commune*, organismo perteneciente a la familia Schizophyllaceae. Cada uno de estos usos del suelo influye en la funcionalidad ecológica de los diferentes sistemas analizados.

Palabras clave: biodiversidad edáfica, edafofauna, manejo del suelo.



Avispa de leche (*Apoica pallens*) (Hymenoptera: Vespidae). Foto: M. Ávila-Leguizamo

Introducción

La sede Barcelona de la Universidad de los Llanos cuenta con una amplia diversidad de ecosistemas, en los cuales se pueden encontrar diferentes usos del suelo, como bosque, sabana, cultivos de ciclo corto y perenne, que son importantes para la incorporación de la materia orgánica. Estos permiten el mantenimiento de los servicios ecosistémicos de soporte y regulación, como la polinización, el refugio para las especies, el almacenamiento de carbono, el reciclaje de nutrientes en los suelos, la regulación hídrica, entre otros (Delgado *et al.*, 2011). De manera que, al ofrecer condiciones esenciales para la vida, es hábitat de los organismos edáficos, que son los principales formadores de la estructura del suelo, dado que contribuyen con el ciclado de nutrientes y la descomposición de la materia orgánica (Vázquez, 2001).

La fauna edáfica se caracteriza por su gran diversidad y complejidad, compuesta por organismos invertebrados. En suelos maduros la diversidad suele ser más alta debido al desarrollo máximo del suelo (FAO, 2015; Franco *et al.*, 2016). Esta se distribuye entre la hojarasca, los troncos en descomposición, así como en el interior y en la superficie del suelo, de tal forma que se encarga de transformar elementos en una fuente de materia orgánica a través de procesos de descomposición que activan el ciclo biogeoquímico de los elementos (Gliessman, 2002).

De acuerdo con la forma de vida y el tamaño del individuo, se clasifica en macrofauna, mesofauna y microfauna. La macrofauna corresponde a los organismos que es posible observar a simple vista, tienen un ancho de cuerpo mayor a 2 mm y una longitud mayor a 10 mm. La mesofauna, de menor tamaño, abarca los organismos que poseen un diámetro entre 0,2-2 mm, mientras que los individuos que poseen un diámetro menor de 0,2 mm se clasifican en la microfauna (Cabrera *et al.*, 2014). El constante manejo del suelo en los cultivos establecidos, ya sea de ciclo corto o perenne, ocasiona la simplificación de los ecosistemas a causa de las actividades antrópicas, como la agricultura, lo cual hace que el nuevo agroecosistema modifique los servicios ecosistémicos, afectando el funcionamiento de los procesos naturales, como la descomposición de la materia orgánica y el ciclaje de nutrientes.

Por lo tanto, el uso del suelo para la producción agrícola y ganadera influye en la abundancia y riqueza de la biodiversidad edáfica y, al mismo tiempo, ocasiona la pérdida de la calidad del suelo, debido a la disminución de las especies vegetales y los diferentes sistemas de raíces, así como al uso excesivo de agroquímicos y al descenso de la variedad de hábitats, entre otros (FAO, 2015).

En el presente trabajo se caracterizó la abundancia, riqueza y diversidad de organismos edáficos que se pueden encontrar en un bosque húmedo tropical secundario, sabana modificada, cultivo de ciclo corto y cultivo perenne dentro de la granja agrícola ubicada en la sede Barcelona de la Universidad de los Llanos, con el fin de analizar el efecto del uso del suelo en la biota edáfica.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la granja agropecuaria de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, ubicada en el municipio de Villavicencio, departamento del Meta, Colombia, el cual está localizado a 4°04'33.78" N y 73°34'49.50" O, a una altitud de 465 msnm (figura 10). El bioma principal del Meta está compuesto por bosques tropicales húmedos con paisajes dominantes de piedemonte, donde se encuentran ecosistemas como selvas húmedas, bosques y matorrales, tanto densos como claros (Jiménez & Thomas, 2003; Ortiz-Moreno, 2014). La región corresponde a bosque húmedo tropical con clima cálido húmedo, caracterizado por tener un régimen monomodal con una temperatura media anual entre 24 y 26 °C, con una humedad relativa del 75 % y precipitaciones medias anuales de 3000 mm (IGAC, 2004; Roa & Muñoz, 2012; IDEAM, 2015).

Toma de las muestras de suelo

El método de muestreo que se empleó fue el propuesto por el Programa de Investigación Internacional Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (TSBF) (Anderson & Ingram, 1993 citado en García *et al.*, 2014), que consiste en la

extracción de monolitos de 20 x 20 cm a una profundidad de 0-30 cm, sin retirar la hojarasca. Se tomaron cuatro monolitos del suelo, uno por cada cobertura vegetal. Cada monolito correspondiente se empacó en bolsas rotuladas para, posteriormente, trasladarlas al laboratorio. La colecta se realizó manualmente *in situ* y se describió la vegetación presente en cada sitio (uso de suelo) de manera general (figura 11).

Procesamiento de muestras

Las muestras se procesaron en el laboratorio de biología de la Universidad de los Llanos. La extracción de la macrofauna del suelo se realizó de forma manual y directa, con ayuda de pinzas entomológicas y pinceles. Se extrajeron los organismos y se depositaron en frascos de vidrio a los que previamente se les agregaron ± 10 mL de alcohol al 75 %.

La determinación taxonómica del material se realizó hasta el nivel de orden, con la ayuda de especialistas de la Universidad de los Llanos (Villavicencio, Colombia) y de literatura especializada (Brusca & Brusca, 2005; Ruppert & Barnes, 1996).

Análisis de datos

Los datos se organizaron en tablas, gráficas o fotografías de los registros de los organismos encontrados (macrofauna), asociados a 400 cm² de suelo, lo cual fue extrapolado a una hectárea (ha) de cada cobertura vegetal. Con base en la información obtenida, se construyó el modelo del ciclo biogeoquímico del nitrógeno y del fósforo, considerando las fuentes en cada caso (naturales y fertilizantes químicos), y se representaron los productores primarios, teniendo

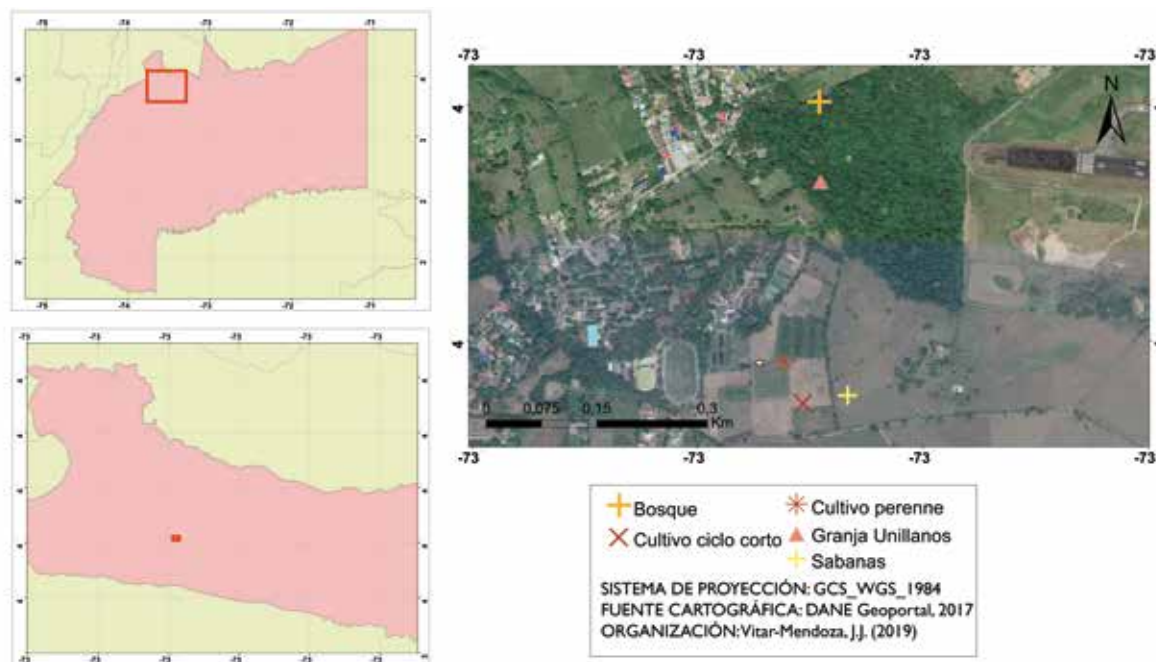


Figura 10. Mapa de localización del área de estudio granja agropecuaria de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. Fuente: J. Vitar-Mendoza (elaboración propia).

en cuenta la descripción del sitio. A su vez, se incluyeron los siguientes niveles tróficos: consumidores primarios y secundarios, representando el flujo de cada nutriente con flechas.

Variables evaluadas

Abundancia: en cada muestreo realizado en las cuatro coberturas se estableció la abundancia de la macrofauna del suelo, calculando el número de individuos por m² (Botina *et al.*, 2012).

Riqueza: es expresada como el número de morfoespecies en una comunidad presente en cada área (Pla, 2006).

Tipos de ecosistemas

El área de estudio albergó cuatro tipos de coberturas vegetales (Romero *et al.*, 2017): bosque secundario, un agroecosistema de sabana de pastos introducidos, un cultivo de ciclo corto y un cultivo perenne, los cuales se describen a continuación.

Bosque secundario (B)

Bioma: selva tropical transformada en sabana.

Paisaje: llanura aluvial.

Ecosistema: bosque secundario pluvial muy húmedo.



Figura 11. Metodología de colecta de las muestras de suelo en campo. a) Delimitación del suelo con un marco de 20 x 20 cm; b) Calicata de 20 x 20 cm con 20 cm de profundidad; c) Bloque de suelo, sin retirar la capa vegetal; d-e-f) Empacado en bolsas y rotulado de las muestras, sin retirar la hojarasca para traslado al laboratorio; g-h-i) Extracción de la macrofauna del suelo, de forma manual y directa con ayuda de pinzas entomológicas. **Fotos:** E. Vélez-Lopez (2015).



Ecosistema: agroecosistema de sabana de pastos introducidos. Foto: S. López González



Ecosistema: bosque secundario pluvial muy húmedo. Foto: E. Vélez-López

El bosque húmedo tropical secundario es uno de los ecosistemas con mayor riesgo de transformación del paisaje y es una de las áreas en las que se ha evidenciado una alta transformación, lo cual ha causado la fragmentación del hábitat y la pérdida de la biodiversidad.

El Distrito Militar Aéreo n.º1 (Base Aérea de Apiay) ha realizado actividades de reforestación para producir una capa de vegetación, con el fin de ofrecer protección auditiva y balística a los residentes del sector.

La principal vegetación de la reforestación realizada por parte del Distrito Militar estuvo compuesta por individuos de la familia Marantaceae, el género *Cecropia* de la familia Urticaceae, así como por las familias Rubiaceae, Commelinaceae, Fabaceae, Piperaceae, Melastomataceae, Araceae, entre otras, que conforman el perfil florístico del bosque húmedo tropical secundario.

Por otro lado, en la Universidad de los Llanos se han llevado a cabo actividades de tipo agrícola, en las cuales se han realizado cambios en la estructura del ecosistema. En estas actividades, que tienen fines académicos, se evalúan variedades que podrán ser alternativas alimentarias en un futuro.

La transformación de los ecosistemas naturales ha aumentado, especialmente en los trópicos y subtropicales (Etter *et al.*, 2006). Como resultado de esto, los bosques tropicales que mantienen una alta biodiversidad han sido transformados en pastizales introducidos y en zonas de cultivo (Etter *et al.*, 2006).

Por otra parte, el ecosistema ha sufrido disturbios debido a la deforestación por medio de en-

tresaca, por lo que se considera que se alteró la dinámica de la comunidad vegetal. Este tipo de deforestación causa un aumento de la luminosidad, disminuye la humedad relativa y reduce las poblaciones de musgos (Rangel-Ch. *et al.*, 1997; Aguirre & Rangel-Ch., 2007).

También, causa que solo exista un estrato arbóreo, debido principalmente al aumento de la luminosidad donde antes era reducida, lo que provoca la germinación de semillas, que se encuentran en el banco de semillas, dando origen a diferentes plántulas, las cuales forman el estrato arbustivo que tiene alrededor de 3 años, siendo este bastante homogéneo, ya que se reclutan plántulas que remplazarán al dosel que fue deforestado, razón por la cual el estrato arbóreo es menor (Rangel-Ch, 2015 a).

Agroecosistema de sabana (S)

Bioma: selva tropical transformada en sabana.

Paisaje: planicie aluvial o llanura aluvial.

Ecosistema: agroecosistema de sabana de pastos introducidos.

La vegetación en el lugar de muestreo es herbácea, predominan las especies de las familias Poaceae, Oxalidaceae, Verbenaceae y Cyperaceae. Posee poca diversidad con respecto al bosque húmedo tropical. La vegetación adyacente a la zona de muestreo está compuesta principalmente por árboles ubicados como cerca, para la delimitación del terreno, o cercas que limitan el paso de bovinos y equinos.

Las especies arbóreas y arbustivas se encuentran de forma dispersa en el agroecosistema. Esta sabana se encuentra dominada por gramíneas del género *Brachiaria* y algunas herbáceas

de las familias Melastomataceae, Araceae, Piperaceae, Asteraceae y Fabaceae, como el maní forrajero (*Arachis pintoi*) y la dormidera (*Mimosa pudica*).

El ecosistema presenta una cobertura vegetal abierta, poblada por pastizales tolerantes a la inundación, como algunas especies de la familia Cyperaceae, con escasez de especies leñosas. Los niveles superiores del suelo, donde se desarrolla casi toda la biomasa de gramíneas, permanecen saturados de agua por un tiempo a veces prolongado.

98 *Cultivo de ciclo corto (CC)*

El cultivo de ciclo corto se encuentra en la granja de la Universidad de los Llanos, es un área transformada por el hombre. En ella se encuentra una vegetación heterogénea, conformada por pequeñas parcelas de cultivos experimentales de maíz (*Zea mays*) y arroz (*Oryza sativa*), pertenecientes a la familia Poaceae, y soja (*Glycine max*) de la familia Fabaceae.

Al no existir un dosel arbóreo, hay una mayor disponibilidad lumínica, un aumento de la erosión del suelo y altas temperaturas, factores que pueden ser agravados por los cambios climáticos, lo que afecta el crecimiento y rendimiento de las plantas (Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo [FONADE] *et al.*, 2013; Nelson *et al.*, 2009).





Cacao (*Theobroma cacao*), yopo (*Anadenanthera peregrina*) y acacia (*Acacia mangium*).

Foto: E. Vélez-López



Parcela de cultivo experimental de maíz (*Zea mays*). Foto: L. Salazar-Florián

Cultivo perenne (agroecosistema: cacao, yopo y acacia) (CP)

El cultivo perenne fue establecido hace varios años. El más importante es el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) de la familia Malvaceae, que tiene 15 clases de clones, con una diversidad de patrones que determina su producción. Como el cultivo necesita una intensidad lumínica controlada, se creó un agroecosistema en policultivo que está conformado por cultivos de yopo (*Anadenanthera peregrina*) y acacia (*Acacia mangium*), pertenecientes a la familia Fabaceae. Al poseer este tipo de vegetación introducida, la capa de hojarasca es menor que en el bosque. La vegetación que compone el agroecosistema se encuentra escalonada o en estratos. En los estratos inferiores se presenta una vegetación similar a la de la planicie circundante y se observan diversos tipos de familias de plantas como Cucurbitaceae, Poaceae, Cyperaceae, Fabaceae, Euphorbiaceae, Piperaceae, Rubiaceae y Urticaceae.

La sombra del dosel de los árboles maderables de yopo y acacia trae consigo nuevos organismos, entre ellos se pueden observar insectos parasitoides, insectos plaga, insectos benéficos y, además, se pueden encontrar organismos como hongos pertenecientes a los órdenes Polyporales, Agaricales y Xylariales, que se caracterizan por ser descomponedores de la materia orgánica (hojas de cacao, yopo, acacia y árboles aledaños), siendo esta actividad una función importante para transformar la materia e incorporar nutrientes al suelo (Montoya *et al.*, 2010).

Resultados y discusión

Composición de la macrofauna del suelo

La composición de la macrofauna del suelo estuvo integrada por organismos que abarca-

ron tres *phyla*: Arthropoda, Annelida y Mollusca (anexo 8). La clase Insecta presentó el mayor número de órdenes (Coleoptera, Lepidoptera, Hemiptera, Orthoptera, Dictyoptera, Dermaptera, Blattodea, Hymenoptera, Thysanoptera, Phasmida y Diptera). Las demás clases presentaron un orden cada una: Entognatha (Collembola), Arachnida (Araneae), Malacostraca (Isopoda), Chilopoda (Scolopendromorpha), Clitellata (Haplotaxida) y Gastrópoda (Pulmonata). Estos organismos cumplen un papel importante en la fertilidad y en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, dado que generan estructuras biogénicas que contribuyen en la descomposición y en la dinámica de la materia orgánica (Rippstein *et al.*, 2001).

Abundancia de organismos del suelo

El número de individuos en los cuatro tipos de coberturas vegetales (bosque, sabana, cultivo de ciclo corto y cultivo perenne) fue de 1260 individuos por metro cuadrado (i.p.m²). La zona bosque presentó los valores más altos, con 593 i.p.m², entre los que predominan los órdenes Hymenoptera, Haplotaxida, Blattodea y Araneae. Le sigue la sabana con 441 i.p.m², donde predominan los órdenes Hymenoptera, Blattodea, Haplotaxida y Coleoptera. El cultivo de ciclo corto y el cultivo perenne se consolidan como los de menor abundancia (tabla 12). De acuerdo con Rippstein *et al.* (2001), los cultivos anuales ocasionan drásticas reducciones en las poblaciones de organismos en el suelo, lo cual puede estar relacionado con el uso excesivo de pesticidas, el efecto de las labranzas y la disminución de las reservas de carbono por falta de vegetación perenne.

Es de resaltar que la hojarasca (hojas, ramas, corteza, flores y frutos) acumulada en la superficie del suelo y proveniente de la cobertura

arbórea representa la base de nutrientes y la energía para la fauna edáfica. Así mismo, la sombra del dosel proporciona protección frente a los cambios de temperatura y retención de humedad, dado que la penetración lumínica incide en la configuración y riqueza de algunos taxones (Bautista & Suárez, 2013). Por tanto, los sistemas agroforestales compuestos por un estrato arbóreo poseen mayor abundancia de organismos en comparación con sistemas de cultivos de ciclo corto y perenne.

Riqueza de organismos del suelo

102

La mayor riqueza de morfotipos se presentó en el bosque, con 36 morfoespecies, seguido por la sabana (16 morfoespecies) y el cultivo perenne (11 morfoespecies), mientras que una baja riqueza prevaleció en el cultivo de ciclo corto, con ocho morfoespecies (anexo 9). De manera que la diversidad y abundancia de la fauna edáfica, en relación con la presencia de especies de los grupos de termitas, hormigas y lombrices en una zona, permite conocer la calidad del suelo (Jiménez & Thomas, 2003).

Macrofauna edáfica dominante en los ecosistemas de sabana y bosque

Los principales grupos de la macrofauna edáfica son las lombrices, las termitas, las hormigas y los escarabajos (Cabrera, 2014). Los órdenes dominantes en el ecosistema de sabana son Haplota-xida, Blattodea, Hymenoptera y Coleoptera. Para el ecosistema de bosque, los órdenes dominantes son Blattodea, Haplota-xida e Hymenoptera. Las lombrices de tierra (orden Haplota-xida), las termitas (orden Blattodea) y las hormigas (orden Hymenoptera) son generalmente los tres componentes dominantes de las comunidades de

macrofauna en las sabanas y bosques. Como se ha mencionado anteriormente, la macrofauna edáfica es elemental en los ecosistemas, ya que entre las múltiples funciones que cumplen, como la fijación de nitrógeno, la digestión de organismos patógenos, la formación de simbiosis, entre otras, afectan directamente la dinámica de las plantas (Rippstein *et al.*, 2001). Un ejemplo son las lombrices de tierra que favorecen la fertilidad del suelo por la infiltración y aireación, producto de su acción excavadora, de manera que ponen la materia orgánica a merced de otros organismos que intervienen en los procesos de descomposición (Ramírez *et al.*, 2013; Huerta *et al.*, 2007). Igualmente, las termitas desempeñan un papel importante en la dinámica de los ecosistemas, debido a los procesos de descomposición de la materia orgánica, así como a la construcción de estructuras biogénicas, a través de las cuales logran modificar las características físicas y químicas de los suelos e influir en los ciclos de nutrientes (Camacaro *et al.*, 2008). De acuerdo con Moreira *et al.* (2012), estos organismos se sitúan en diferentes categorías tróficas, dado que se pueden alimentar de hojarasca, madera, pastos, suelo, líquenes, hongos, entre otros. Por su parte, las hormigas son el grupo más diverso y abundante de la fauna edáfica y presentan una distribución cosmopolita. La gran mayoría de especies habita en el suelo, donde construye nidos, entre la hojarasca o en la madera en descomposición (Fernández, 2001).

Por tanto, se considera que la ubicación de los grupos anteriormente mencionados está relacionada con la oferta de condiciones propicias para su establecimiento, de modo que en zonas húmedas y con abundante material orgánico se encuentran las lombrices; en suelos

Tabla 12. Abundancia (número de individuos por m²) colectada de los órdenes de la macrofauna del suelo, asociados a cuatro tipos de coberturas vegetales (bosque, sabana, cultivo de ciclo corto y cultivo perenne)

Phylum	Clase	Órdenes	Nombre común	Sabana		Bosque		Cultivo ciclo corto		Cultivo perenne		Total
				N.º i.p.m ²	%	N.º i.p.m ²	%	N.º i.p.m ²	%	N.º i.p.m ²	%	
Insecta	Arthropoda	Coleoptera	Escarabajos	75	17,0	7	1,18	22	15,5	15	17,8	119
		Lepidoptera	Mariposas	6	1,36	4	0,67	12	8,6	4	4,8	26
		Hemiptera	Chinches y salta hojas	2	0,45	18	3,03	24	17,0	2	2,4	46
		Ortoptera	Grillos y saltamontes	2	0,45	8	1,35	36	25,3	4	4,8	50
		Blattodea	Cucarachas	0	0,00	1	0,16	1	0,7	0	0	2
		Dermaptera	Termitas	115	26,0	218	36,8	0	0,00	0	0	333
		Hymenoptera	Tijeretas	1	0,23	1	0,16	3	2,1	0	0	5
		Thysanoptera	Hormigas	123	28,0	146	24,6	6	4,22	2	2,4	277
		Phasmidae	Trips	4	0,91	2	0,34	0	0,00	0	0	6
		Diptera	Insectos palo	0	0,00	1	0,16	0	0,00	0	0	1
		Entognatha	Moscas y mosquitos	4	0,91	8	1,34	2	1,4	22	26,1	36
		Arachnida	Colémbolos	1	0,23	6	1,01	4	2,86	6	7,14	17
Malacostraca	Arañas	10	2,26	22	3,70	2	1,4	9	10,7	43		
Chilopoda	Cochinillas	0	0,00	1	0,16	0	0,00	1	1,2	2		
Annelida	Scolopendromorpha	Ciempis	2	0,45	0	0,00	1	0,7	3	3,62	5	
Mollusca	Lombrices de tierra	Haplótaxida	94	21,3	148	25,0	23	16,0	10	11,9	275	
Total	Babosas y caracoles		2	0,45	2	0,34	6	4,22	6	7,14	16	
			441	100	593	100	142	100	84	100	1260	

Campus de la Universidad de los Llanos, Meta, Colombia. **Fuente:** E. Vélez-López (2019).

arenosos habitan las hormigas y en suelos arcillosos, las termitas (Amézquita *et al.*, 2013). Cabe resaltar que estos grupos (lombrices, termitas y hormigas) son conocidos como ingenieros del ecosistema, título que han recibido por la formación de estructuras biogénicas en el suelo, las cuales permiten el desarrollo de la

actividad microbiana, la dinámica de la materia orgánica, el ciclaje de nutrientes, el intercambio de agua y aire, entre otros (Jiménez & Thomas, 2003). Por ende, la fauna edáfica constituye una alternativa en la búsqueda de métodos que permitan incrementar la fertilidad del suelo y su conservación (Bautista & Palacio, 2005).



Tremella fuciformis, hongo gelatinoso. Foto: E. Vélez-López



Macrohongos

La composición taxonómica de los macrohongos, en las diferentes coberturas vegetales, se presenta en la figura 12. Todos ellos hacen parte de la biodiversidad del suelo y cumplen un papel fundamental en los ecosistemas gracias a la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de los nutrientes. Es decir, son organismos descomponedores que transforman la materia orgánica en inorgánica (Pfenning & Magalhães, 2012). La recolección de los macrohongos se realizó en los ambientes de bosque. Posteriormente, se llevaron al laboratorio y fueron identificados con ayuda de un especialista. En los ambientes de sabana, cultivo de ciclo corto y cultivo perenne, no se obtuvieron registros. La especie más abundante fue *Schizophyllum commune*, perteneciente a la familia Schizophyllaceae. De pequeñas dimensiones, es uno de los hongos lignícolas con mayor distribución. Fructifica sobre madera o restos leñosos de todo tipo de árboles y es capaz de hacerlo en cualquier época del año (Vázquez, 2013). Es importante resaltar que la diversidad fúngica es fundamental para el mantenimiento de los ecosistemas, ya que los hongos son degradadores, movilizados de nutrientes, patógenos o simbioses, que contribuyen en el funcionamiento de los sistemas boscosos (Martínez *et al.*, 2012). La presencia de este tipo de hongos permite conocer el estado del bosque evaluado. Según Martínez *et al.* (2012), en los bosques mediterráneos, una proporción superior al 30 % de hongos micorrizógenos, con respecto a la diversidad encontrada, es indicador de un bosque vigoroso.

Los órdenes con mayores individuos registrados en las coberturas vegetales fueron Agaricales

y Polipolares. Los Agaricales presentan una amplia distribución en abundancia en épocas lluviosas, se caracterizan por la formación de asociaciones con micorrizas de plantas y crecimiento sobre materia orgánica en descomposición. Este grupo está conformado por hongos saprófitos, parásitos y simbioses (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 1991; Acuña, 2003).

Los Poliporales, al igual que los Agaricales, presentan una gran diversidad de formas, colores y tamaños. Poseen una amplia distribución en numerosos ambientes. En los ecosistemas son importantes en el mantenimiento de la estructura y función, puesto que cumplen labores de descomposición de materia orgánica, liberación y reciclaje de nutrientes (Cepero de García *et al.*, 2012).

Comparación de las coberturas vegetales

La comparación del efecto de las coberturas vegetales en dos diferentes agroecosistemas de la región Orinoquia, ubicados en la sede Barcelona de la Universidad de los Llanos, que forman parte de una de las zonas más ricas en biodiversidad, evidencia el cambio de estructura del suelo y los organismos que habitan en la zona (anexo 10).

En el bosque húmedo tropical se puede analizar la diversidad de vegetación que posee la comunidad vegetal y que forma microhábitats para los microorganismos edáficos (anexo 11). Además, tiene una capa de 4 cm de hojarasca aproximadamente y una densa capa de raíces en descomposición, que permite el desarrollo de los procesos para el ciclaje de nutrientes con la ayuda de los microorganismos. Presenta vegetación introducida, como el caso del platanillo

(familia Heliconiaceae). Los árboles del dosel tienen una altura aproximada de 6 m, aunque el área que ocupa este bosque es pequeña por las intervenciones antrópicas que ha tenido, lo cual se evidencia en las plantas introducidas y en el tamaño del bosque. Esto se debe a la reforestación realizada por parte del Distrito Militar Aéreo n.º1 (Base Aérea de Apiay).

En Colombia, la Orinoquia está compuesta por una gran variedad de ecosistemas que denotan su riqueza gracias a las características y dinámicas propias de la región, necesarias para conservar su funcionalidad ecológica (Lasso *et al.*, 2011). En ella se encuentran las sabanas, que son los ecosistemas de mayor extensión. Se caracterizan por una vegetación predominante de herbáceas con arbustos, árboles o palmares dispersos, con un estrato arbóreo diversificado (Leyva, 2001). El suelo de la sabana es arcilloso e impermeable, posee un pH de 5 y tiene unas características muy marcadas debido al estrés por el período de sequía. Dado que la región biogeográfica en la que se encuentran las sabanas se caracteriza por un período de lluvias abundante, su sistema hídrico y las inundaciones han permitido establecer ambientes fluviales y lacustres, hábitats de numerosas especies adaptadas ecológicamente a la estacionalidad del agua (Leyva, 2001).

Ciclos biogeoquímicos en cuatro coberturas vegetales

Los ciclos biogeoquímicos son sistemas dinámicos de los elementos químicos, que consisten en procesos que se llevan a cabo en la biósfera. Su disponibilidad para los seres vivos depende de los mecanismos de transformación. Entre estos se encuentran los ciclos del

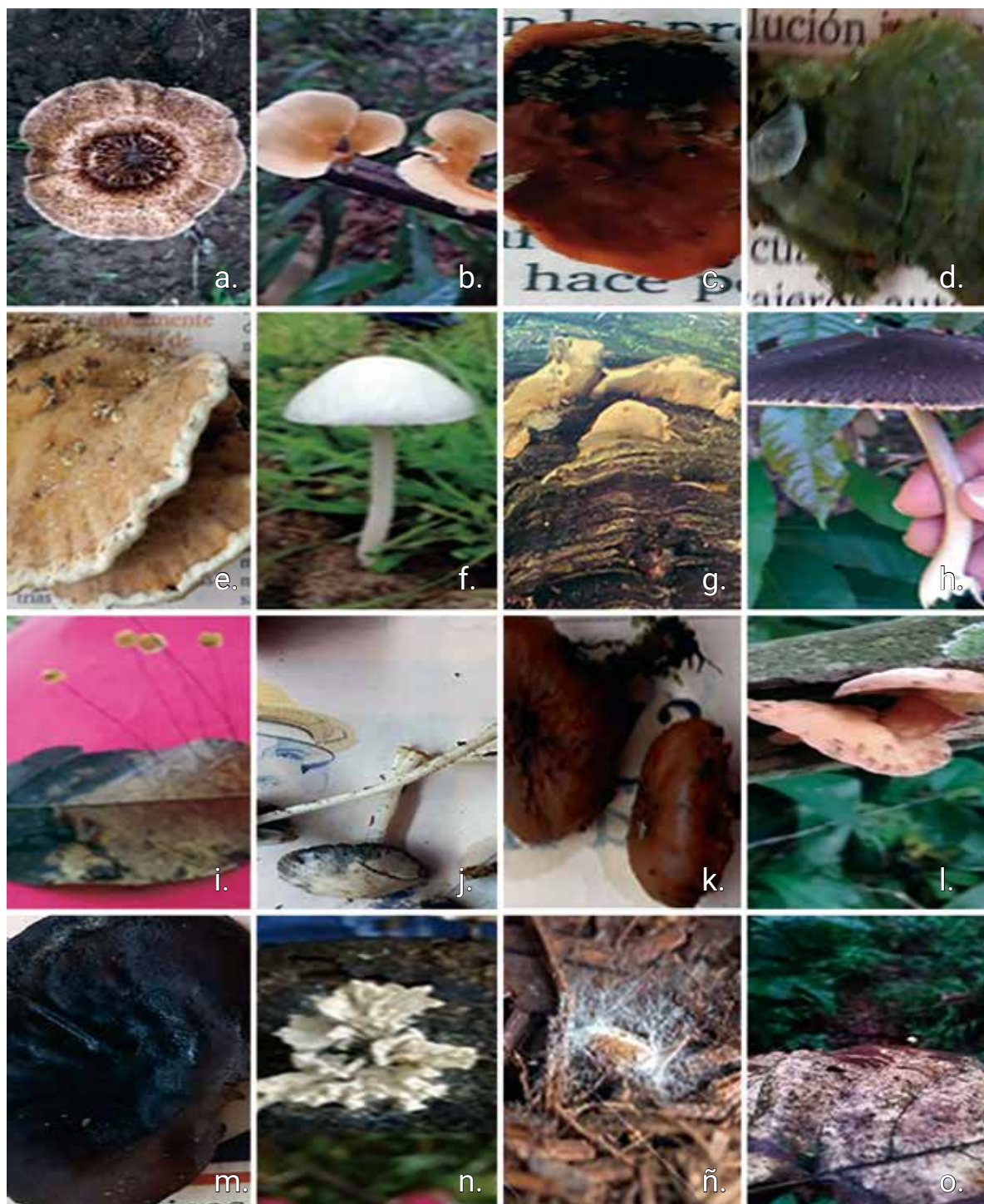


Figura 12. Tipos de hongos registrados en las coberturas vegetales. Bosque: orden Polyporales a) *Lentinus swartzii*; b) *Trogia cantharelloides*; c) *Pycnoporus cinnabarinus*; d) *Daedaleopsis confragosa*; e) *Trametes* sp.; orden Agaricales f) *Coprinus* sp.; g) *Pleurotus* sp.; h) *Agaricus* sp.; i-j) *Marasmius* sp.; k) *Mycena* sp.; orden Auriculariales l) *Auricularia delicata*; m) *Auricularia fuscusuccinea*; n) *Xylaria cubensis*; ñ) Micelios de hongo (no determinado) en cultivo perenne: o) Mycetozoa: Mixomicetos. Fotos: Vélez-López (2015).

fósforo (P) y del nitrógeno (N), importantes en el crecimiento y productividad de las plantas (Cerón & Aristizábal, 2012). En los ecosistemas, al considerarse sistemas abiertos, los elementos entran y salen a través de las relaciones entre la biota, la hidrósfera, la geósfera y la atmósfera por medio de ciclos locales (suelo) o globales (atmósfera) (Valverde *et al.*, 2005).

El análisis de los ciclos presentes en los ecosistemas analizados permitió conocer la dinámica del movimiento de los nutrientes fósforo y nitrógeno, desde su ingreso al ciclo hasta su salida. Se proponen dos ciclos por zona de muestreo; uno para fósforo y uno para nitrógeno. Como principal aspecto, los ciclos reflejaron la importancia que tienen los microorganismos y la edafofauna presentes en el suelo, destacándose la acción de las bacterias nitrificantes para el caso del nitrógeno, ya que lo fijan en el suelo, dejándolo disponible para los productores primarios. Por otra parte, se encuentran los organismos descomponedores de materia orgánica, que ayudan en el reciclaje de los nutrientes para volver los minerales a su forma inorgánica.

Así mismo, en la transformación del nitrógeno y del fósforo en los suelos participan microorganismos solubilizadores de fosfatos y diazótrofos, los cuales son responsables, en parte, de estimular el crecimiento de las plantas (fitoestimulación). Pero a su vez, su función ecológica es afectada por las condiciones ambientales como el tipo de suelo y las especies de plantas en la zona (Cerón & Aristizábal, 2012).

Dinámica del nitrógeno

El nitrógeno es uno de los elementos esenciales para la vida, está presente en plantas y ani-

males, aunque mayormente disuelto en forma de gas en la atmósfera. Por esta razón, circula entre la litósfera, la atmósfera, la hidrósfera y la biósfera, así como en los seres vivos. Por tanto, la primera etapa en el ciclo del nitrógeno es la nitrificación y fijación que deja el nitrógeno disponible para que se dé la segunda etapa, que es la asimilación por los productores primarios; mediante interacciones ecológicas se da la tercera etapa, en la cual los consumidores primarios depredan o parasitan las plantas para luego ser depredados por los consumidores secundarios y así sucesivamente.

Durante este proceso se genera materia orgánica, una parte debido a la hojarasca producida por las plantas y otra por los desechos de los consumidores, allí es donde inicia la última etapa del ciclo y entran en acción los microorganismos del suelo que inician un proceso de descomposición, dejando disponible el nutriente nuevamente en el suelo. Se debe destacar que, al igual que en otros ciclos, el último paso depende enormemente del tiempo de disponibilidad lumínica y del recurso hídrico en el ecosistema. Esto se ve reflejado, a modo de entrada, en cada uno de los diagramas de ciclos (figuras 13, 14, 15 y 16).

Este elemento ingresa en los ecosistemas por fijación química y biológica del nitrógeno molecular, el cual desempeña un papel fundamental en la biósfera en los procesos de mineralización, nitrificación, fijación de nitrógeno (N_2) y oxidación anaeróbica del amonio, donde intervienen los microorganismos del suelo. Así mismo, sale del sistema a través del proceso de desnitrificación (Cerón & Aristizábal, 2012).

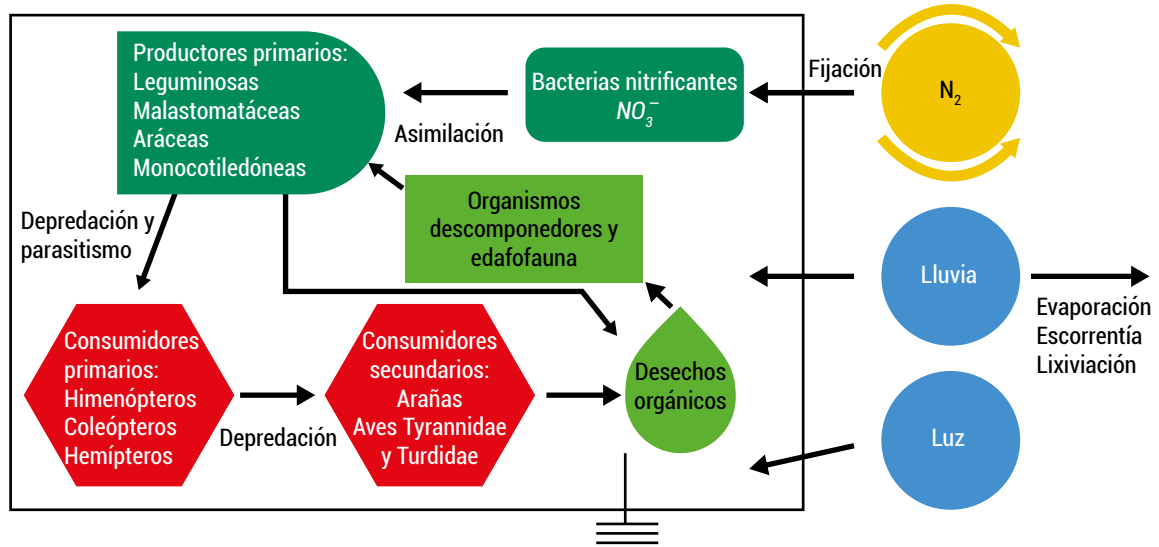


Figura 13. Ciclo del nitrógeno en bosque húmedo tropical. **Fuente:** Fontecha-Parrado *et al.* (2018)

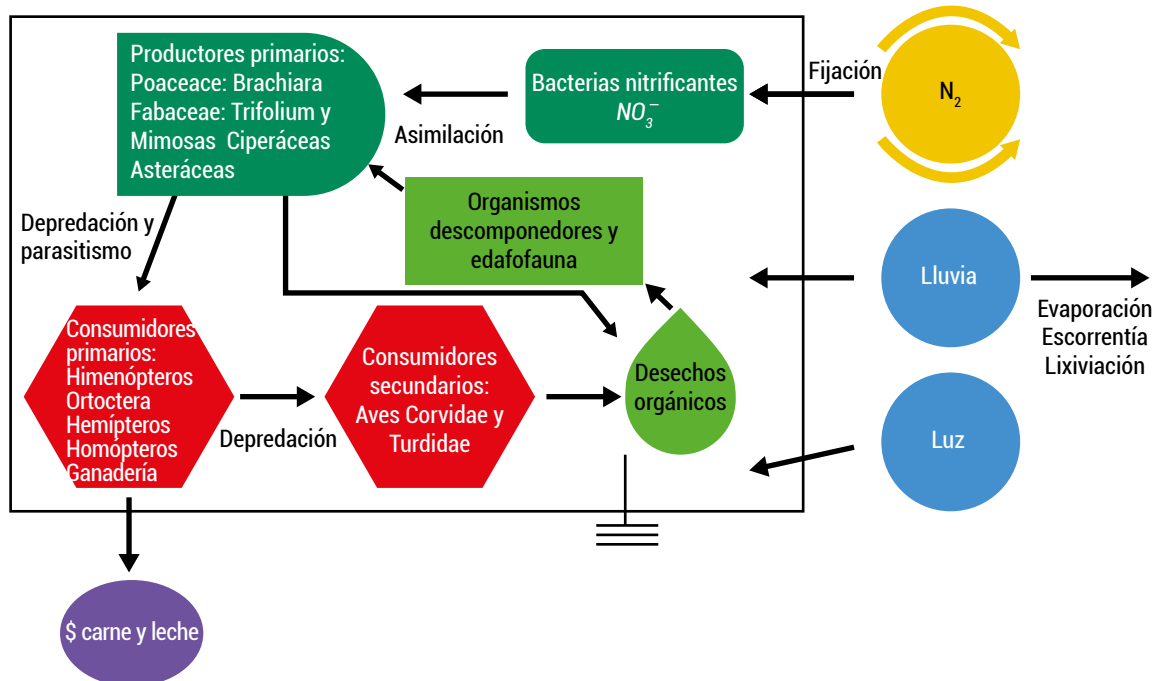


Figura 14. Ciclo del nitrógeno para el agroecosistema de sabana. **Fuente:** Fontecha-Parrado *et al.* (2018)

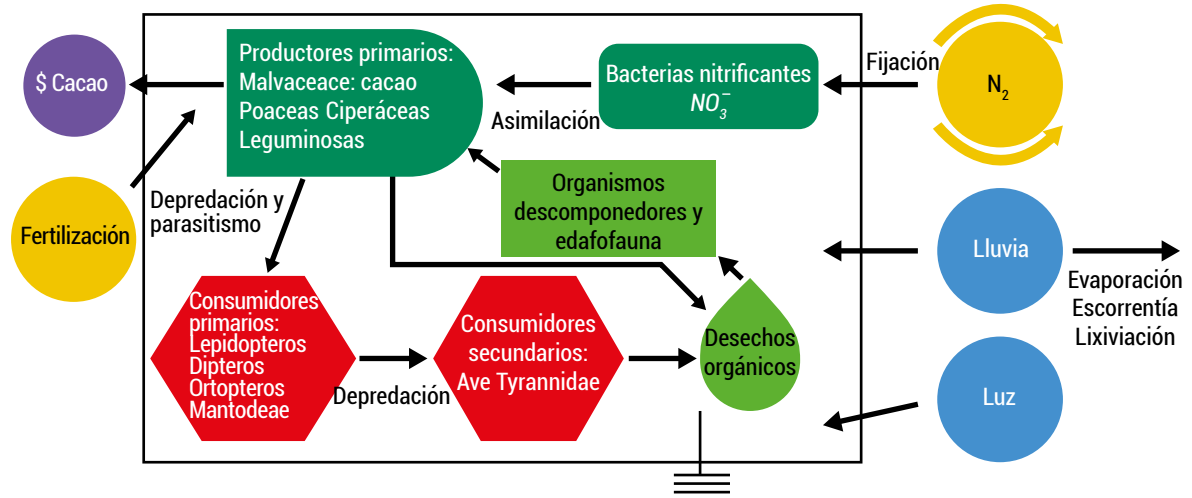


Figura 15. Ciclo del nitrógeno para el agroecosistema del cacao (*Theobroma cacao*). **Fuente:** Fontecha-Parrado et al. (2018)

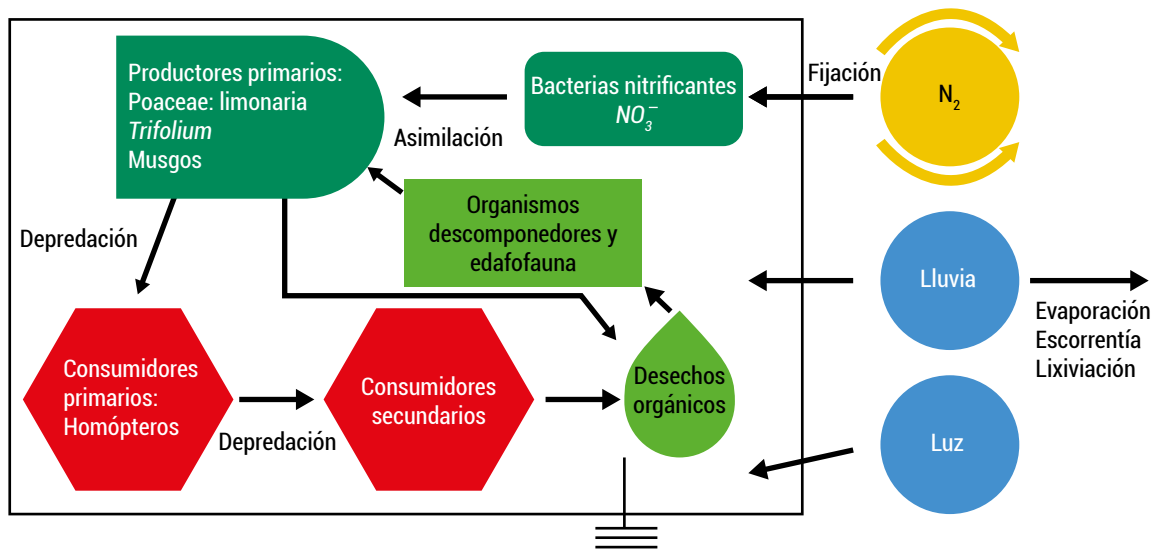


Figura 16. Ciclo del nitrógeno para cultivo de ciclo corto. **Fuente:** Fontecha-Parrado et al. (2018)

Dinámica del fósforo

Al igual que el nitrógeno, el fósforo es un elemento esencial para los seres vivos y para los procesos de la fotosíntesis de las plantas. Forma parte de moléculas tan importantes como los ácidos nucleicos (ADN, ARN), el ATP y otros compuestos fosforados (figuras 17 y 18). Además, desempeña un papel especial en el metabolismo energético de los seres vivos, pues al transferirse un ion fosfato a una molécula de ADP, se origina una molécula de ATP, rica en energía fácilmente transportable (figura 19).

En la naturaleza se encuentra como mineral, formando parte del suelo. Aunque los suelos de la Orinoquia presentan gran cantidad de fósforo, poco de este se encuentra disponible en formas que sean asimilables por las plantas (HPO_4 , H_2PO_4). En muchos casos, esto es una limitante para el establecimiento de proyectos productivos, lo que hace necesaria la incorporación externa de este mineral mediante la fertilización, como se puede observar en el ciclo del fósforo para el caso del cacao (figura 20).

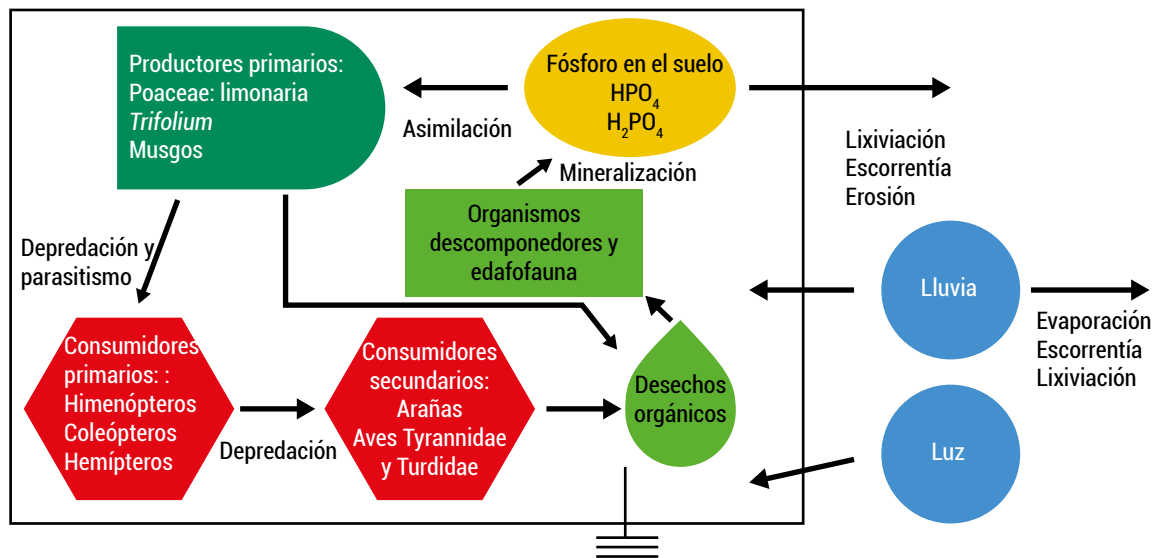


Figura 17. Ciclo del fósforo en bosque húmedo tropical. Fuente: Fontecha-Parrado et al. (2018)

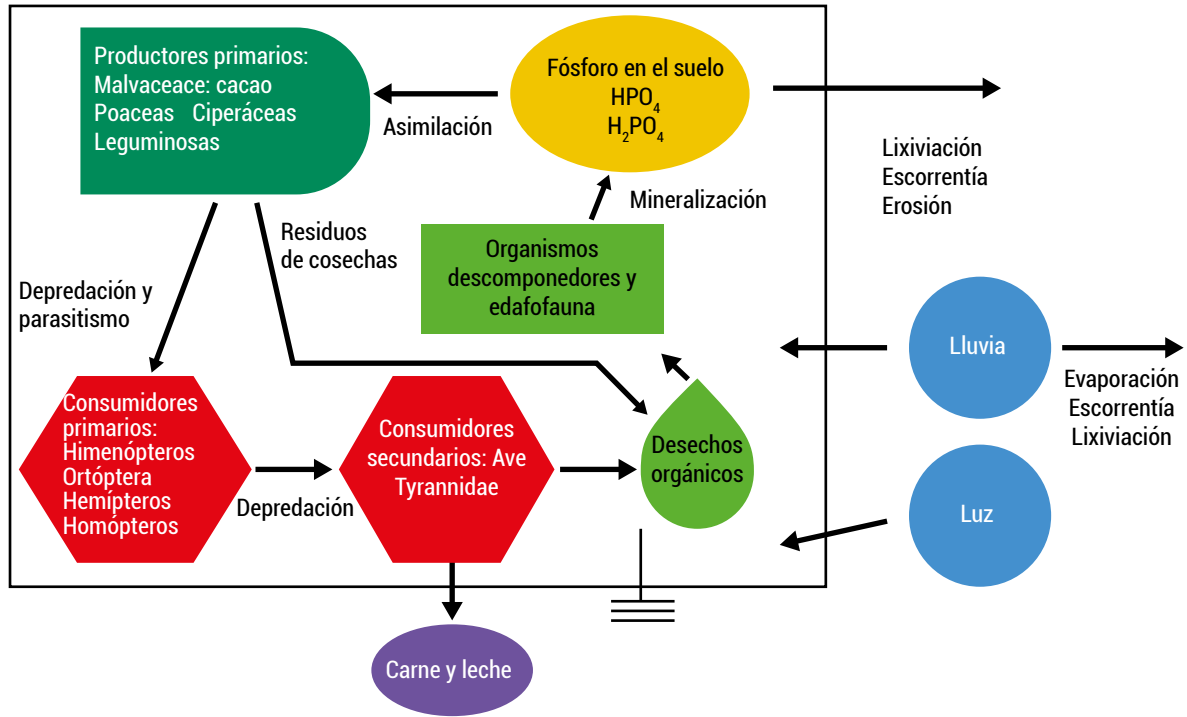


Figura 18. Ciclo del fósforo para el agroecosistema de sabana. Fuente: J. F. Fontecha-Parrado.

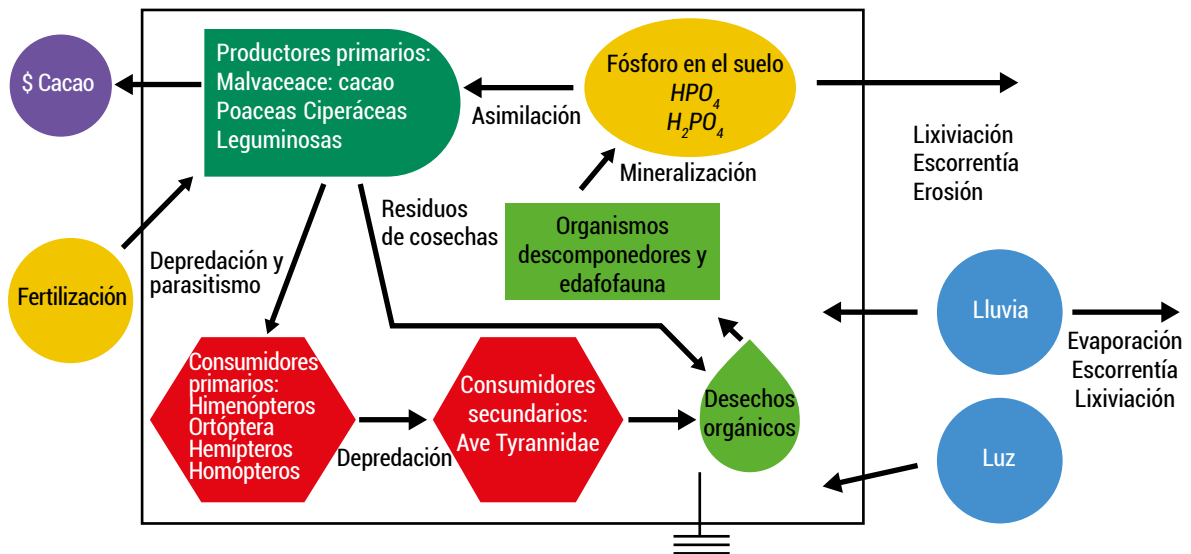


Figura 19. Ciclo del fósforo para el agroecosistema del cacao (*Theobroma cacao*). Fuente: J. F. Fontecha-Parrado.

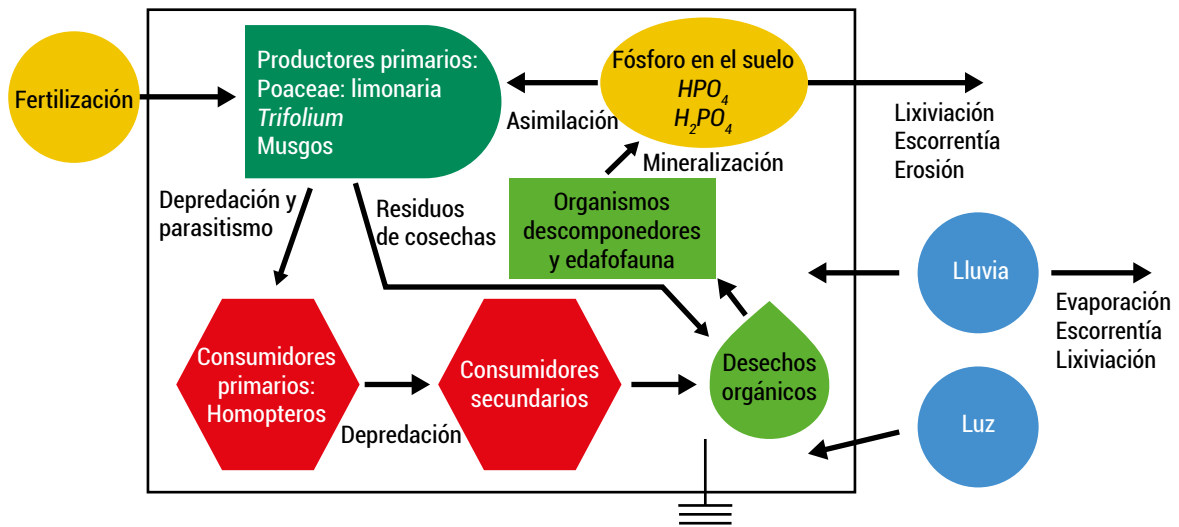


Figura 20. Ciclo del fósforo para cultivo de ciclo corto. Fuente: J. F. Fontecha-Parrado.





Flor de *Bixa orellana* - Bixaceae polinizada por una abeja de la familia Apidae.

Foto: E. Urrea-Méndez



Referencias bibliográficas

- Acuña, R. (2003). *La biodiversidad*. Universidad de Costa Rica.
- Aguirre, J., & Rangel-Churio, J. O. (2007). Amenazas a la conservación de las especies de musgos y líquenes en Colombia—Una aproximación inicial. *Caldasia*, 29(2), 235-262.
- Amézquita, E., Rao, I. M., Rivera, M., Corrales, I. I., & Bernal, J. H. (2013). *Sistemas Agropastoriles: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods* (2nd ed.). Wallingford: CAB International.
- Bautista, E. & Suárez, J. (2013). Fauna del suelo y hojarasca en arreglos agroforestales de la Amazonia Colombiana. *Momentos de Ciencia*, 10(1).
- Bautista, F. & Palacio, A. (2005). *Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. Instituto Nacional de Ecología.
- Botina, B. G., Velásquez, A. I., Bacca, T., Castillo, J. F., & Días, G. L. (2012). Evaluación de la macrofauna del suelo en *Solanum tuberosum* (solanales: solanaceae) con sistemas de labranza tradicional y mínima. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.*, 16(2), 69-77.
- Brusca R. & Brusca, G. (2005). *Invertebrados* (2.ª edición). McGraw-Hill Interamericana de España.
- Cabrera, G. (2014). *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba*. The Ruffor Foundation.
- Camacaro, J., Ojeda, A. & López, D. (2008). Densidad de termiteros de *Cortaritermes* sp. (Isoptera: Termitidae) en sabanas localizadas el noreste del estado Bolívar, Venezuela. *Acta Biológica Venezuelica*. 28(1), 85-91.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (1991). *Plagas y enfermedades forestales en América Central. Manual de Consulta*. CATIE.
- Cepero de García, M., Restrepo, S., Franco, A., Cárdenas, M. & Vargas, N. (2012). *Biología de hongos*. Ediciones Uniandes.
- Cerón, L. & Aristizábal, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos.

Revista colombiana de Biotecnología, 14(1), 285-295.

Delgado, G., Burbano, A. & Parra, A. (2011). Evaluación de la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas con café *Coffea arabica* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 91-106.

Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S., & Possingham, H. (2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 114(2-4), 369-386.

Fernández, P. R. (2001). Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana (ns)*, 1:189-238.

Fondo Financiero De Proyectos De Desarrollo – FONADE, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, & Banco Interamericano De Desarrollo – BID. (2013). *Efectos del cambio climático en el rendimiento de tres cultivos mediante el uso del Modelo AquaCrop*. <https://bit.ly/3FF261s>

Fontecha-Parrado, J.F., Velásquez, E., Sanchez, E., Salas, A., 2018. *Organismos edáficos y ciclos biogeoquímicos: diagnóstico de biodiversidad y movimiento de nutrientes en cuatro coberturas vegetales de un agroecosistema de la Orinoquia*. Informe de laboratorio del curso Ecosistemas Tropicales, IV semestre Ing. Agronómica, Universidad de los Llanos.

Franco, A., Bartz, M., Cherubin, M., Baretta, D., Cerri, C., Feigl, B., Wall, D., Davies, C. & Cerri, C. (2016). Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. *Science of the Total Environment*, 563, 160-168.

García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2014). Efecto de diferentes usos de la tierra en la composición y la abundancia de la macrofauna edáfica, en la provincia de Matanzas. *Pastos y Forrajes*, 37(3), 313-321.

Gliessman, S. (2002). El concepto de agroecosistemas. En *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE.

Huerta, E., de la O-De Dios, D., & Nuncio, G. (2007). Incremento de la fertilidad del suelo mediante el uso de lombrices de tierra (*Glossoscolecidae* y *Acanthodrilidae*) y leguminosas (*Arachis pintoii*) en un suelo de traspatio. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14(2), 172-176.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Atlas Climatológico de Colombia. Atlas Interactivo: IDEAM*.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). *Estudio General de Suelos y Zonificación de tierras*. IGAC.

Jiménez, J. J., & Thomas, R. J. (2003). *El arado natural: Las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas Neotropicales de Colombia*. CIAT.

- Lasso, C., Rial, A., Matallana, C., Ramírez, W., Celsa, J., Díaz, A., Corzo, G. & Machado, A. (2011). *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: II. Áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle de Ciencias Naturales e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia).
- Leyva, P. (2001). *El medio ambiente en Colombia* (2.ª edición). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Ministerio del Medio Ambiente.
- Martínez de Aragón, J., Oliach, D., Henriques, R., Fortuny, M., Girbal, J., & Bonet, J. A. (2012). *Manual para la gestión del recurso micológico forestal en Cataluña*. Ediciones CTFC.
- Montoya, S., Gallego, J., Sucerquia, A., Peláez, B., Betancourt, O., & Arias, D. (2010). Macro-micetos observados en bosques del Departamento de Caldas: su influencia en el equilibrio y la conservación de la biodiversidad. *Bol. cient. mus. hist. nat.*, 14(2), 57-73.
- Moreira, F., Huisling, J., & Bignell, D. (2012). *Manual de biología de suelos tropicales, muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte, R., Ewing, M. & Lee, D. (2009). *Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation*. Food Policy Report 21. International Food Policy Research Institute (IFPRI). Recuperado de <http://www.ifpri.org/publication/climate-change-1>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Suelos y biodiversidad*. <http://www.fao.org/3/i4551s/i4551s.pdf>
- Ortiz-Moreno, M. L. (2014). *Análise da interação entre ordenamento territorial e biodiversidade: estudo de caso em Villavicencio (Meta, Colômbia)* [tesis de doctorado, Universidad Federal de São Carlos]. Repositorio Institucional UFCAR. <https://bit.ly/3Bsm3pJ>
- Pfenning, L. & Magalhães, L. (2012). Capítulo 8: Hongos del suelo saprófitos y patógenos de plantas. En: Moreira, F., Huisling, E. & Bignell, D. (Eds.). *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo el suelo*. Instituto Nacional de Ecología.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.
- Ramírez, R., Álvarez, M. E., & Leiva, E. (2013). Dinámica de las poblaciones de lombrices en un Andisol sometido a distintos sistemas de uso del suelo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 66(2), 7045-7055.

Rangel-Ch, J. O. (2015a). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151), 176-200.

Rangel-Ch, J. O. (2015b). La riqueza de las plantas con flores de Colombia: The richness of flowering plants in Colombia. *Caldasia*, 37(2), 279-308.

Rangel, J. O., Lowy, D., & Aguilar, M. (1997). La distribución de los tipos de vegetación en las regiones naturales de Colombia. Aproximación inicial. 383-402 pp. En *Diversidad Biótica II. Tipos de Vegetación en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales, Instituto de hidrología, Meteorología y estudios Ambientales (IDEAM)-Ministerio del Medio Ambiente, Comité de Investigaciones y Desarrollo Científico-CINDEC.U.N, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. pp. 436.

Rippstein, G., Escobar, G. & Motta, F. (2001). *Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement – CIRAD.

Roa, M., & Muñoz, J. (2012). Evaluación de la degradabilidad in situ en bovinos suplementados con cuatro especies arbóreas. *Revista MVZ Córdoba*, 17(1), 2900-2907. <https://doi.org/10.21897/rmvz.259>

Romero-Ruiz, M. H., Galindo-García, G., Otero-García, J., & Armenteras-Pascual, D. (2017). *Ecosistemas de la cuenca del Orinoco colombiano*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. Colombia.

Ruppert, E. & Barnes, R. (1996). *Zoología de los invertebrados* (6.ª edición). McGraw-Hill.

Valverde, T., Meave, J., Carabias, J. & Cano, Z. (2005). *Ecología y Medio Ambiente*. México. Pearson Educación.

Vázquez-Mendoza, S. (2013). Nuevo hospedero del hongo *Schizophyllum commune* en América. *Revista mexicana de biodiversidad*, 84(2), 661-663.

Vázquez, M. (2001). *Fauna edáfica de las Selvas Tropicales de Quintana Roo*. México. Universidad de Quintana Roo y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.



Género *Hoplomutilla*, un miembro de hormiga de terciopelo (familia Mutillidae).

Foto: M. Ávila-Leguizamo



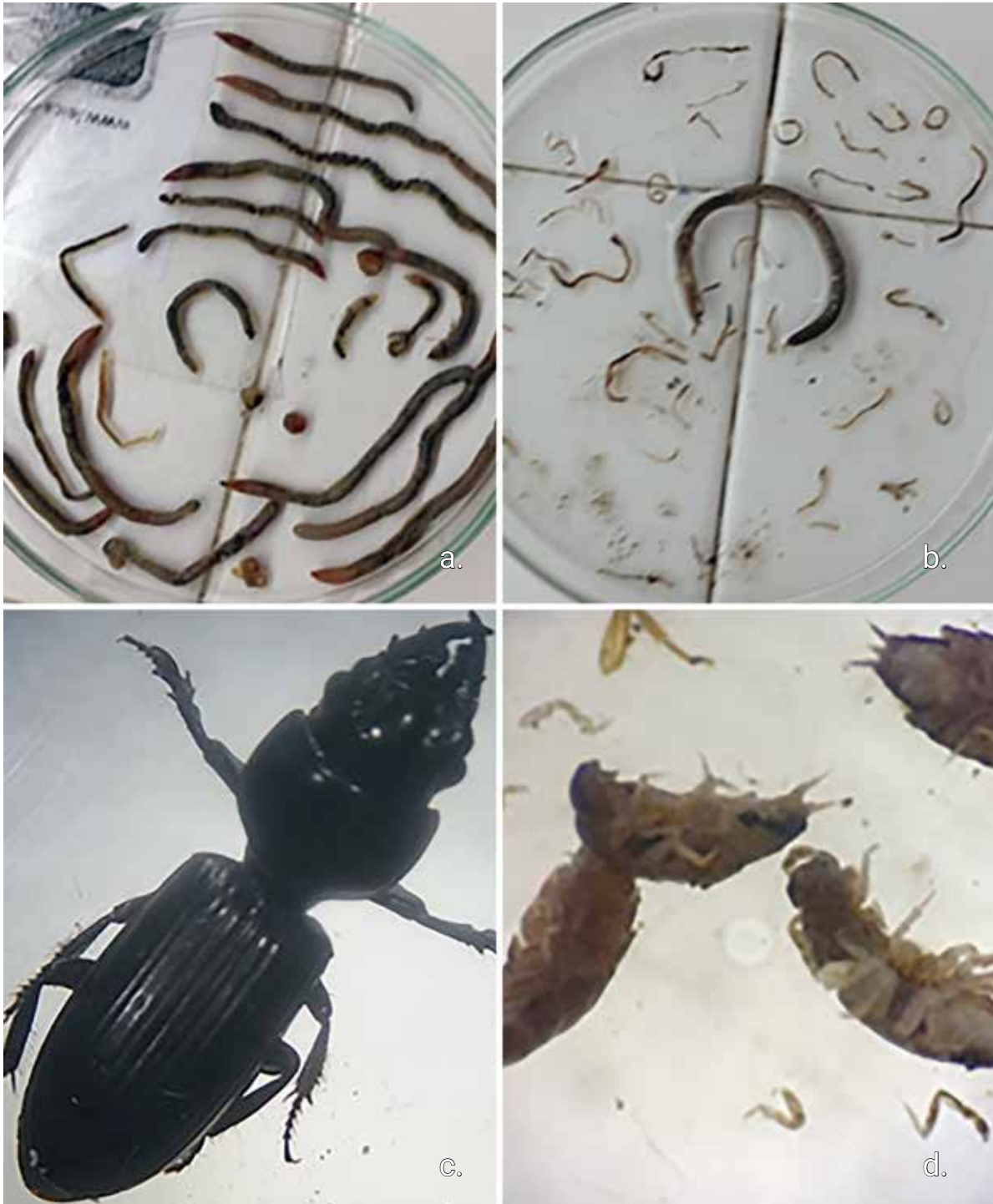
Anexos



Avispita patona o chalcídido (Hymenoptera: Chalcididae). Foto: E. Vélez-López

Anexo 8

Fotografías de los organismos encontrados en la macrofauna del suelo: a-b) Lombrices de tierra (orden Haplotaxida); c) Escarabajo (orden Coleóptera); d) Colémbolos (orden Collembola). Fotos: J. F. Fontecha-Parrado (2015).



Anexo 9

Entomofauna acompañante, bosque húmedo tropical. a-b-c-d-e-f) Hormigas - familia Formicidae (orden Himenóptera); g) Escarabajo - familia Carabidae (orden Coleóptera); h-i) Escarabajo alado - familia Lycidae (orden Coleóptera). Fotos: J. F. Fontecha-Parrado (2015).

2023



122

Cont. Anexo 9

Entomofauna acompañante, sabana. a-b) Chicharritas - familia Cercopidae (orden Hemiptera); c) Toritos o periquitos - familia Membracidae (orden Hemiptera); d-g) Chinchas - familia Reduviidae (orden Hemiptera); e) Familia Chrysomelidae (orden: Coleóptera); f) Ninfa de chinche (orden Hemiptera); h-i) Grillos (orden Ortóptera). Fotos: J. F. Fontecha-Parrado (2015).



Cont. Anexo 9

Entomofauna acompañante, agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao*). a) Larva (orden Lepidóptera); b-e-f-i) Mosquito (orden Díptera); c) Grillo - familia Gryllidae (orden Ortóptera); d) Mosca - familia Muscidae (orden Díptera); g) Hormiga - familia Formicidae (orden Himenóptera); h) Chinche (orden Hemíptera). Fotos: J. F. Fontecha-Parrado (2015).

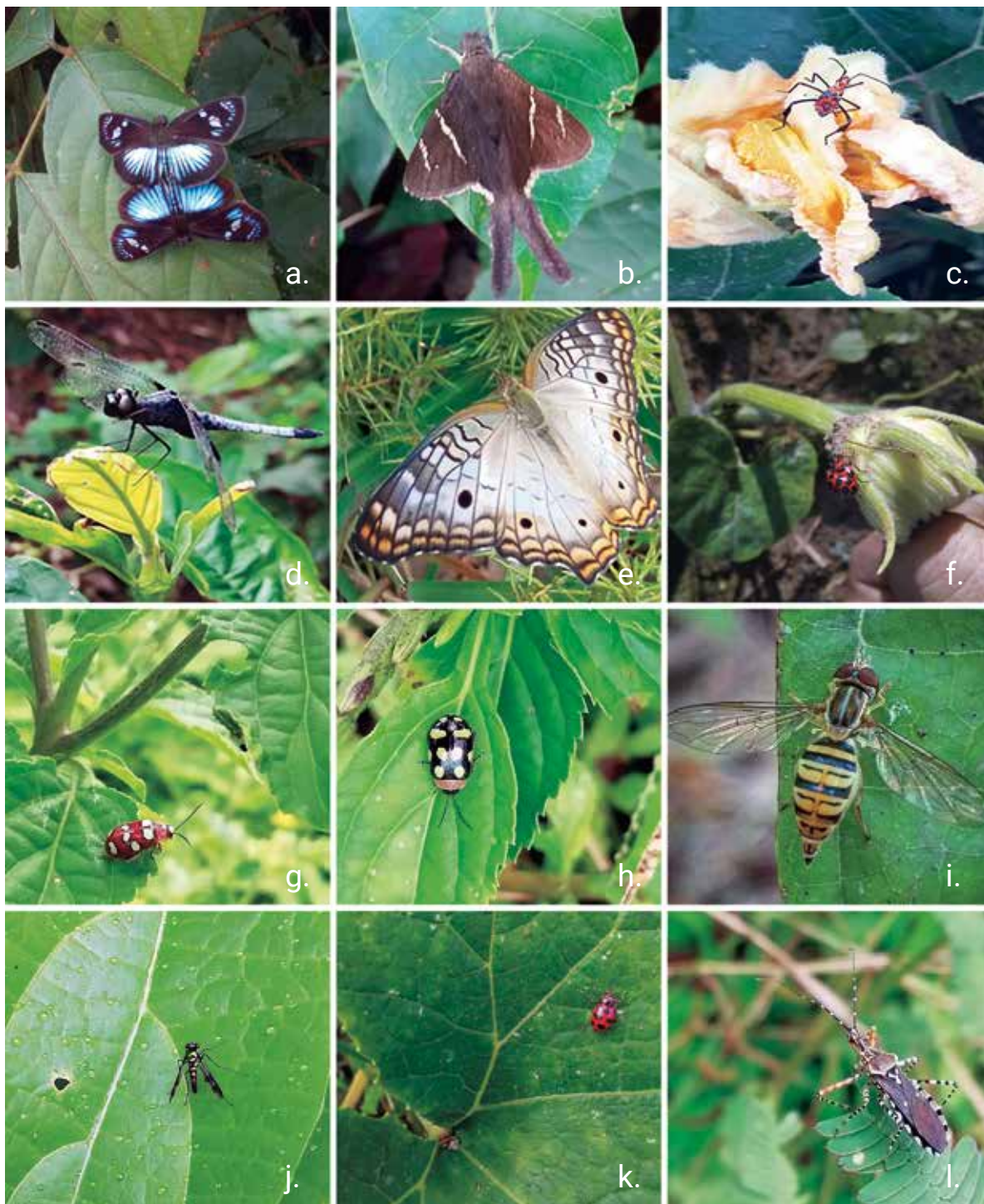
2023



124

Anexo 10

Fotografías de los organismos registrados en los ecosistemas. a-b) Mariposas (orden Lepidóptera); c) Ninfa de chinche (orden Hemíptera); d) Libélula (orden Odonata). Fotos: Vélez-López (a, b, c, d), Vargas-Quiroga (e, f, k), Rojas-Rodríguez (g, h, j, l), Ávila Leguizamo (i).



Anexo 11

Fotografías de la vegetación herbácea registrada en los ecosistemas. a) Familia Melastomataceae; b) Familia Costaceae; c) Familia Poaceae; d) Familia Piperaceae. Fotos: Hoyos-Velásquez (2015).

2023

126





Escarabajo alas de red - familia Lycidae (orden Coleóptera). Foto: J. Rojas-Rodríguez



La cosmopolita familia de las Cyperaceae. Foto: F. Vargas-Quiroga