

RESÚMEN EJECUTIVO

APROXIMACIÓN A LA VALORACIÓN ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA POLINIZACIÓN, FORMACIÓN DE SUELOS Y EL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN PLANTACIONES DE PALMA DE ACEITE:

ESTUDIO DE CASO EN OCHO FINCAS DE LA REGIÓN ORIENTE Y NUEVE DE LA REGIÓN NORTE

En el marco del *Proyecto GEF Paisaje Palmero Biodiverso* – PPB, a partir de 2014 se realizaron las caracterizaciones biológicas y evaluaciones requeridas para la identificación de los altos valores de conservación (AVC) en los núcleos palmeros beneficiarios del proyecto. En 2015 se decidió hacer una aproximación formal a la valoración de los servicios ecosistémicos de la polinización, formación de suelos y el control de plagas y enfermedades, debido a la dependencia que el sector palmero tiene de los mismos y la necesidad de considerarlos un aspecto fundamental de su planeación, y del uso y manejo de los recursos naturales.

Entre octubre de 2016 y febrero de 2018, la Fundación Ecotrópico Colombia desarrolló una consultoría con el objetivo de valorar los beneficios ecológicos y económicos que la biodiversidad asociada a los procesos naturales de la polinización, formación de suelos y el control de plagas y enfermedades, presta a las plantaciones de palma de aceite.

El estudio involucró 17 meses del trabajo interdisciplinario de un grupo de especialistas en economía ambiental, biología de la conservación, polinización de palmeras, microbiología y entomología del suelo y herpetofauna (anfibios y reptiles).

El tiempo y los recursos establecidos para el desarrollo de la consultoría determinaron el tamaño de la muestra o número de fincas evaluadas. **Como estudio de caso, se evaluaron ocho fincas de los núcleos palmeros de la región oriente y nueve de la región norte. Todas estas fincas tienen plantaciones de palma africana (*Elaeis guineensis*), a excepción de tres fincas de la región oriente donde se cultiva el híbrido entre la palma africana y la palma americana de aceite (*Elaeis oleifera*).**

La selección de estas fincas se realizó, de manera concertada, con el equipo técnico del proyecto *GEF PPB* y los núcleos palmeros beneficiarios del mismo. **Se tuvo en cuenta la necesidad de vincular a este estudio las fincas que contaran con buenos históricos de las actividades asociadas a sus prácticas de manejo agronómico, y que fueran representativas del diferencial de estas prácticas, en cuanto al uso de productos químicos y biológicos.** Adicionalmente, en cada finca se seleccionó un lote de su plantación para la caracterización biológica y fisicoquímica.

El área remanente de bosque natural en las fincas seleccionadas se calculó en el Sistema de Información Geográfica, con base en la cartografía de altos valores de conservación (AVC) elaborada por el equipo del Proyecto PPB (2014, a escalas 1:100.000 y 1:25.000 combinadas). Las ocho fincas evaluadas de la región oriente tienen entre el 3 y 21% de su área total en bosques riparios (algunos corresponden a bosques de galería) de las cuencas de los ríos Guatiquía y Guacavía, incluidos en el **AVC 4** por su importancia para la regulación hídrica y el control de la erosión. Las nueve fincas

evaluadas de la región norte se encuentran en el área de influencia de las cuencas de los ríos Aracataca y Fundación (Magdalena). Siete de estas fincas prácticamente no tienen bosque natural remanente en su interior (entre 0 y 2%), ni en su contexto paisajístico inmediato. Una de las fincas restantes tiene 9% de su área total en bosque seco tropical y bosque ripario semi-inundable, clasificados como **AVC 3** o ecosistemas críticos y amenazados, debido a su fragmentación y aislamiento; y la otra cuenta con 10% de su área en bosque seco tropical asociado al **AVC 2** de la Sierra Nevada de Santa Marta.

SERVICIO ECOSISTÉMICO DE LA FORMACIÓN DE SUELOS

Como base de todos los ecosistemas terrestres, la formación de suelo es un servicio ecosistémico esencial de soporte, provisión, y regulación, e incluso cultural. Los procesos ecológicos involucrados en la formación de suelo (o pedogénesis) más relevantes son el ciclaje de los nutrientes, ciclaje del agua y la actividad biológica del suelo. El ciclaje de los nutrientes hace referencia a la liberación y bio-disponibilidad de los nutrientes en el suelo, como producto de la descomposición de la materia orgánica y la transformación de los nutrientes elementales. El ciclaje del agua incluye el proceso de su almacenamiento, filtración y transformación; y la actividad biológica del suelo engloba los organismos que lo habitan y las funciones que llevan a cabo, como resultado de los procesos biológicos de los que hacen parte, así como sus relaciones o sinergias. Estos procesos ecológicos están influenciados por los motores naturales de cambio, como el clima, las amenazas naturales, la geomorfología y biodiversidad; y por los motores antropogénicos, como el uso de la tierra y las prácticas y tecnologías de manejo agronómico.

El monocultivo perenne de la palma de aceite es un sistema de alta producción agrícola, acompañado de una alta demanda de nutrientes para sustentar primero su crecimiento vegetativo y luego los requeridos para la producción permanente de los frutos. Adicionalmente, la adecuada fertilización (nutrición suficiente y balanceada) juega un papel importante en la prevención de las enfermedades y los ataques de las plagas que afectan el cultivo y sus rendimientos. En estas plantaciones la biodiversidad asociada a los suelos se ve significativamente reducida, debido a que las funciones de los organismos presentes en el ecosistema han sido reemplazadas por grandes introducciones de recursos como el agua, insumos como los fertilizantes, pesticidas y herbicidas, y operaciones intensivas de limpieza y mano de obra.

La valoración ecológica y económica del servicio ecosistémico de la formación de suelos se enfocó en el aporte de los siguientes grupos funcionales: 1) microorganismos descomponedores de la materia orgánica, 2) microorganismos transformadores de los nutrientes elementales, 3) invertebrados, anfibios y reptiles sintetizadores o ingenieros del ecosistema del suelo, 4) invertebrados transformadores de la hojarasca, y 5) mesorreguladores o invertebrados que regulan los ciclos de nutrientes a través del forrajeo y otras interacciones directas e indirectas con los microorganismos descomponedores.

El trabajo de campo y laboratorio se realizó, de manera simultánea, durante los primeros 12 meses de la consultoría. Los técnicos, administradores y contadores de las fincas y las plantas extractoras suministraron la información solicitada sobre las prácticas de manejo agronómico, y sus costos asociados, durante los últimos seis meses.

Con la información obtenida de las caracterizaciones biológicas se construyeron indicadores que permitieron determinar la oferta de los grupos funcionales de organismos que participan en estos procesos, principalmente en términos de su riqueza y abundancia. Luego, para la valoración ecológica se establecieron las relaciones estadísticas más significativas entre estos indicadores biológicos, la fisicoquímica de los suelos, las prácticas de manejo agronómico implementadas, y el área remanente de los bosques naturales en las fincas seleccionadas.

La valoración ecológica se articuló con la valoración económica, aplicando las metodologías de los costos evitados y la función de producción (producción incremental) a algunas de las relaciones obtenidas con mayor sentido económico y agronómico, con el objetivo de aproximar y estimar un valor monetario de su contribución a la generación y el mantenimiento del servicio ecosistémico de la formación de suelos.

Aunque el número de fincas evaluado (o tamaño de la muestra) limita el peso estadístico de las relaciones encontradas entre los indicadores, los resultados obtenidos reflejan tendencias, brindan unas primeras señales y constituyen una aproximación a su valoración ecológica y económica, que determinan la generación y el mantenimiento del servicio en el marco del estudio de caso.

Principales resultados y recomendaciones de la valoración ecológica:

Los bosques y coberturas naturales son la fuente y reservorio de organismos hacia las plantaciones cercanas; mantienen una biodiversidad especializada que proporciona beneficios adicionales y una mayor resiliencia al servicio ecosistémico dentro del cultivo.

Esto se pudo confirmar al encontrar correlaciones positivas entre la abundancia de los invertebrados coleópteros y dípteros transformadores de hojarasca, y el porcentaje de las coberturas naturales remanentes. Igualmente, a mayor área de cobertura natural en las fincas, mayor abundancia de los anfibios ingenieros del suelo. Estas especies aportan a la modificación de la estructura del suelo, a través de sus hábitos fosoriales (hacen galerías) y estrategias de forrajeo activo, durante el cual recorren grandes distancias removiendo la hojarasca en busca de su alimento.

El estudio de caso en las dos regiones mostró una comunidad de hormigas dominada por los géneros *Solenopsis*, *Pheidole* y *Crematogaster*, considerados indicadores de perturbación y uso intensivo del suelo. Pueden adaptarse a zonas abiertas y son oportunistas del recurso. Aunque cumplen un papel importante como ingenieras del ecosistema, son dominantes omnívoras del suelo y pueden llegar a desplazar las especies de los géneros especialistas, propios del bosque. Este desplazamiento implica pérdida de biodiversidad y funciones específicas en los diferentes estratos del sistema palmero (subsuelo, suelo y vegetación), que están asociadas a mejores condiciones de integridad ecológica.

La baja abundancia y frecuencia de captura de los géneros de hormigas muy pequeñas, con actividad especializada (*Acropyga* y *Carebara*), y las predadoras pequeñas que nidifican en la hojarasca (*Anochetus*, *Hypoponera*, *Prionopelta* y *Gnamptogenys*), en el estudio de caso de la región norte, es

un reflejo de la baja conectividad y el aislamiento de los fragmentos de bosque remanente. Estos grupos son comunes en las áreas de bosque y áreas en recuperación.

Los escarabajos coprófagos proveen una variedad de servicios que mejoran los suelos, para lo cual requieren de una cobertura natural con condiciones de integridad ecológica que les permitan establecerse y salir ocasionalmente a la plantación para aportar estos beneficios. Estudios similares a esta consultoría, indican que los bosques son fuente de estos organismos y su tamaño y distancia a los cultivos afecta la calidad de su función.

En la región oriente la abundancia de las especies de escarabajos coprófagos típicas de bosque, de tamaño grande, que son las que más excremento relocalizan y entierran, permitió valorar su aporte significativo a la incorporación de nitrógeno al suelo degradación de este recurso. Mientras en la región norte es marcada la ausencia de especies de bosque, como reflejo de la pérdida de las coberturas naturales y el empobrecimiento y compactación de los suelos. Allí dominan pocas especies pequeñas, competitivas y tolerantes, con abundancias muy bajas.

La temperatura es una variable crítica para el mantenimiento de la comunidad de escarabajos. Las altas temperaturas aceleran la tasa de la desecación del excremento, y con esto disminuye la actividad de forrajeo de los adultos y la capacidad de supervivencia de las larvas. En este sentido, es relevante considerar el efecto de amortiguación climática y microclimática que ejercen los bosques naturales cercanos a las plantaciones y las coberturas de arvenses en el cultivo para mantener la temperatura dentro de los rangos de tolerancia de las especies.

En este sentido, es relevante considerar el efecto de amortiguación climática y microclimática que ejercen los bosques naturales cercanos a las plantaciones y las coberturas de arvenses en el cultivo para mantener la temperatura dentro de los rangos de tolerancia de las especies.

El mantenimiento de las coberturas de arvenses y plantas herbáceas de crecimiento espontáneo en las interlíneas y otras zonas del cultivo, diversifica el sistema palmero, favoreciendo las condiciones fisicoquímicas del suelo y aumentando la oferta de hábitat y alimento para los invertebrados, anfibios y reptiles.

En el estudio de caso de las dos regiones se observó que las estrategias intensivas de limpieza química y mecánica de los platos, las interlíneas, drenajes y centros de acopio disminuyen la riqueza y abundancia de los grupos funcionales de la mesofauna edáfica (invertebrados). Es importante manejar estas coberturas de manera selectiva, buscando un equilibrio entre su presencia y los requerimientos nutricionales de la palma.

El mantenimiento de las coberturas de arvenses contribuye a la disminución de la abundancia de los microorganismos denitrificantes en el suelo, y por tanto a la disminución del riesgo de la pérdida de N del sistema palmero por generación de gases nitrogenados.

Por el contrario, los suelos con bajos porcentajes de porosidad y, consecuentemente, con una compactación probablemente alta, pueden favorecer el desarrollo de estos microorganismos y la consecuente pérdida de N del sistema de la plantación por generación de gases de efecto invernadero.

La adición de materia orgánica en los platos de las palmas, ya sea en forma de compost, residuos de raquis u hojas podadas, favorecen la presencia y relaciones de los diferentes microorganismos que trabajan en red para descomponerla y hacerla disponible para la planta, fortaleciendo el equilibrio y la salud del suelo. Estas estrategias también contribuyen a crear microhábitats que favorecen la diversidad de los invertebrados ingenieros, transformadores de hojarasca y mesorreguladores, fundamentales en los procesos de la formación de suelos.

La abundancia de las lombrices y termitas se relacionó positivamente con la limpieza mecánica de las interlíneas en el cultivo, y la de los anfibios y reptiles se relacionó positivamente con el plateo mecánico.

Las lombrices y termitas son importantes ingenieros del ecosistema. Las actividades de la manipulación continua de la materia orgánica de las termitas influyen en las características del suelo como la porosidad, capacidad de intercambio catiónico y bioturbación (alteraciones producidas en los sedimentos por su actividad). Adicionalmente, durante la fabricación de sus nidos, túneles y galerías modifican la estructura del suelo. A diferencia de la región norte, la abundancia de las termitas fue particularmente alta en la región oriente.

Igualmente, la abundancia de algunos invertebrados mostró una relación positiva importante con la estrategia del control biológico de las plagas y enfermedades. Todas estas son prácticas de manejo agronómico que permiten considerar los beneficios de los flujos en doble vía, favoreciendo los requerimientos de la plantación y de la biodiversidad asociada.

En la región oriente se recomienda evaluar el uso más racional de los fertilizantes fosforados, en conjunto con la aplicación de las estrategias alternativas integradas para la biodisponibilización de fósforo (P) existente en los suelos con contenidos relativamente altos, y con una baja o nula respuesta a la fertilización fosfórica (> 20 mg/Kg). También se recomienda la aplicación de enmiendas para aumentar el pH en los suelos, especialmente la aplicación de compost con pH alcalinos; aplicación de fosfato solubilizadores, ya sea formulados o mediante la bioaumentación de los nativos; y disminución del uso de glifosato en el cultivo, especialmente en el plato, donde la influencia sobre las raíces de la palma y sus posibles asociaciones con las micorrizas se pueden impactar negativamente.

Se recomienda promover las acciones de restauración ecológica que amplíen la frontera del bosque remanente en las fincas, articuladas con la implementación de herramientas de manejo del paisaje, como corredores de vegetación nativa conectados entre los lotes y las fincas, incluyendo plantas arbustivas, coberturas de arvenses y herbáceas con alto valor funcional, favoreciendo el flujo y el aporte natural de los organismos a los procesos de la formación de suelos en las plantaciones y la conservación integral de la biodiversidad en el territorio.

Lo anterior redundaría, en el mediano y largo plazo, en el mantenimiento de los procesos de la formación de suelos, la resiliencia del servicio ecosistémico y la adaptación del territorio a la variabilidad climática, con un impacto positivo sobre la productividad de los cultivos, sin necesidad de mayores inversiones en mejoras manuales o intervenciones químicas.

Principales resultados y recomendaciones de la valoración económica:

La valoración de los diferentes componentes de la biodiversidad asociada al servicio de la formación de suelos no busca ponerles un “precio”, sino identificar valores aproximados de los efectos que los cambios en los indicadores biológicos tienen sobre el sistema palmero. Como estos elementos del capital natural no tienen un mercado, la metodología utilizada en esta consultoría aproxima su efecto sobre las variables de la producción (en particular la productividad) y los costos asociados. Los resultados demuestran que tanto el enfoque de los costos evitados, como de la producción incremental, son adecuados para ilustrar los beneficios y costos ambientales implicados.

Para el estudio de caso de las dos regiones se estimaron los costos evitados de la fertilización nitrogenada (con urea) equivalente a la incorporación de nitrógeno que realizan los escarabajos coprófagos de las especies exclusivamente residentes de bosque registradas en las fincas evaluadas. Los individuos de las poblaciones de estas especies de bosque ocasionalmente salen al cultivo, en la medida que las condiciones ecológicas y la disponibilidad del recurso o excremento sea favorable. No se contemplaron las especies de áreas abiertas, con el objetivo de que la estimación refleje el beneficio que las áreas naturales brindan a las plantaciones de palma.

De acuerdo con su longitud o tamaño, los escarabajos coprófagos de las especies de bosque registradas en el estudio de caso de la región oriente pueden incorporar desde 0,6 gr/individuo hasta 43 gr/individuo. El resultado estimado de su aporte anual en las plantaciones evaluadas puede estar entre los 4 y 63 kg/ha/año de N.

Si estas poblaciones biológicas desaparecen, se necesitarían entre 9 kg/ha/año y 137 kg/ha/año de urea (fertilización química nitrogenada) para reemplazar su aporte natural, cuyo costo estaría entre los \$16.600 ha/año y \$195.500 ha/año.

Cuando se comparan estos costos evitados de la fertilización con urea, con los costos actuales de la fertilización realizada en cada finca, el resultado representa un incremento probable del 1,2% hasta el 16% del total de los costos.

Comparativamente, con la estimación realizada para las fincas del estudio de caso de la región oriente, y con la salvedad de las diferencias ecosistémicas entre las dos regiones y, por lo tanto, de su composición de especies, el aporte de los escarabajos en la región norte es muy bajo, debido a la fragmentación y el aislamiento de las coberturas naturales.

Los escarabajos de las especies de bosque registradas en el estudio de caso de la región norte pueden incorporar desde 0,6 gr/individuo hasta 26 gr/individuo (un promedio de 5,16 gr/individuo). El resultado estimado de su aporte anual en las plantaciones evaluadas puede estar entre 0,01 y 1,2 kg/ha/año de N; los valores de los costos evitados son marginales cuando se comparan con los costos de la fertilización actual.

Teniendo en cuenta lo anterior, y con el objetivo de dimensionar los beneficios de este capital o aporte natural en el contexto de un aumento del área de cobertura natural en las fincas evaluadas, se realizó un ejercicio de valoración adicional. Este aumento del área de las coberturas naturales, mediante acciones de restauración ecológica e implementación de herramientas de manejo del paisaje con especies nativas, ayudaría a generar refugios naturales que soporten una comunidad de

escarabajos coprófagos funcionalmente viable, con mayor riqueza y abundancia de especies de bosque.

El promedio del área de las coberturas naturales remanentes en las fincas evaluadas en la región norte (con relación a su área total) es de 2,3% y la abundancia promedio de las especies de los escarabajos coprófagos de bosque es de 12,89 individuos. Para alcanzar un 25% (420 individuos) de la abundancia promedio de los escarabajos coprófagos registrada en otro estudio para una finca ganadera en la región Caribe colombiana, con un 50% de su área total conservada en bosque natural, se hizo la siguiente estimación: las fincas que actualmente tienen un área de cobertura natural mayor al 8% deben incrementar esta área en 1,22 veces o 122%; las fincas con menos del 8% de área de cobertura natural tendrían que aumentarla en casi 5 veces o 500%.

Este incremento en las áreas naturales en las fincas evaluadas de la región norte generaría aportes de los escarabajos coprófagos en la incorporación de nitrógeno al suelo significativamente mayores a los que se tienen actualmente, y cuya equivalencia en fertilización con urea puede variar entre 3,4 y 72,9 kilo/ha/año, con costos entre los \$4.341 y \$92.252 pesos/ha.

La comparación de este valor de la urea adicional con los costos actuales de fertilización en cada finca estableció que su participación puede estar entre el 0,3% y un 10,8%.

Para el estudio de caso de la región oriente se realizaron otros dos ejercicios exploratorios de valoración económica con indicadores biológicos que mostraron relaciones no lineales. Estos ejercicios pueden mejorarse en el futuro con la evaluación de una muestra más grande de fincas. Por un lado, los resultados demuestran que existe una relación negativa entre la abundancia de los anfibios y el nitrógeno adicionado en la fertilización, con base en el cual se valoró el aporte de las prácticas de manejo agronómico que favorecen el hábitat de estas especies, y la reducción potencial asociada en la fertilización.

La cantidad de nitrógeno reducido se calculó a partir de los valores máximo y mínimo de las abundancias de los anfibios (la más baja de 20 individuos y la más alta de 93 individuos). Al evaluar la tasa de cambio en estos valores, se pudo deducir que la cantidad de nitrógeno que se reduce está entre los 5 y 17 kilos/ha/año. En términos de su equivalente en urea, este valor se encuentra entre los 12 y 37 kg/ha/año. Se estimó que el valor del fertilizante nitrogenado reducido por cada individuo adicional de una especie de anfibio se encuentra entre los \$17.000 y \$53.000.

Es importante resaltar que estos valores no muestran el valor de un anfibio, sino el beneficio potencial para los sistemas palmeros de reducir los costos de la fertilización mediante la implementación de prácticas manejo agronómico que, adicionalmente, favorecen las condiciones de hábitat para los anfibios (manejo de las coberturas de arvenses) en los cultivos.

Por otro lado, se valoró el aporte de los microorganismos celulolíticos a la productividad del cultivo en diferentes contextos de intensidad de las estrategias químicas implementadas para la limpieza de las malezas y gramíneas en las interlíneas, los drenajes y canales en las plantaciones evaluadas de la región oriente. Estos microorganismos tienen la capacidad de descomponer los diferentes

tipos de moléculas carbonadas complejas, como la celulosa, haciendo disponible los diferentes tipos de nutrientes en el suelo para las plantas; en este caso para la palma de aceite.

Los resultados demuestran que existe una relación negativa, donde a mayores costos en la aplicación de los productos del control químico, menor cantidad de organismos celulolíticos. Estas estrategias incluyen, en la mayoría de fincas, el uso de herbicidas de acción sistémica, como el glifosato. Igualmente, se observaron bajas abundancias de los celulolíticos asociadas a valores bajos de producción.

Para comparar el efecto en la producción de los cambios en la abundancia de los celulolíticos, y los efectos que sobre estos microorganismos tienen los cambios de mayor intensidad (medida a través de los costos) en la limpieza química, se tomaron dos puntos de referencia en la relación productividad/abundancia celulolíticos: una finca con valores de 18,9 t/ha/año de RFF y una abundancia de 1,77 microorganismos/gramo; y otra con 29,6 ton/ha/año y una cantidad de 5,49 microorganismos/gramo.

La siguiente ecuación responde al cambio en la productividad en relación con el cambio en el número de microorganismos:
$$\frac{\Delta \text{producción}}{\Delta \text{num.org.}} = \frac{(29,6-18,9)}{(5,49-1,77)} = \frac{10,7}{3,72} = 2,87 \frac{t}{\text{num.org.}}$$

De esta manera, a cada unidad adicional de celulíticos es posible asociar un cambio de 2,87 toneladas en la producción. La combinación de los dos efectos sobre los celulolíticos establece que, al incrementar los costos del control químico en \$100.000, se obtiene una reducción de 1 unidad de celulolíticos; y al reducir una unidad de celulolíticos, se obtiene una reducción de 2,87 toneladas. Por lo tanto, el efecto final estimado del incremento en la estrategia del control químico tiene un potencial efecto negativo sobre la producción, medido a través del efecto sobre la abundancia de los celulolíticos.

La valoración económica de los elementos de la biodiversidad que soportan y regulan los procesos de la formación de suelos tiene los siguientes desafíos: hay indicadores biológicos que no tienen un comportamiento lineal y, por lo tanto, la evaluación de su relación con los indicadores físicos de la producción del cultivo de palma requiere identificarlos y evaluarlos en detalle. Estos indicadores no lineales corresponden precisamente a los elementos que biológicamente limitan ciertos crecimientos, como en el caso de los microorganismos, o reflejan la competencia de ciertos organismos, como en el caso de los insectos. Bajo ciertas condiciones de integridad ecológica, bióticas y fisicoquímicas, algunas especies se afectan y otras se favorecen. Igualmente, las relaciones de simbiosis o competencia pueden explicar estas no linealidades en el comportamiento de ciertos organismos. Por lo tanto, es clave poder acercar la investigación biológica y ecológica al quehacer de la actividad palmicultora, con el objetivo de precisar las herramientas y estrategias para recuperar y fortalecer el capital natural en los paisajes palmeros, de forma tal que se mejore la rentabilidad del cultivo y el sistema sobre la base de la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.