

ARTÍCULO DE REVISIÓN

513 (enero-diciembre 2022)

CONSIDERACIONES SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LAS TERMITAS (INSECTA: ISOPTERA) CONSIDERATIONS ABOUT THE ECOSYSTEM SERVICES OF TERMITES (INSECTA: ISOPTERA)

✉ GRISEL DE LA C. CABRERA-DÁVILA ✉

Grupo Ecología del Suelo. Sección Ecología Funcional. Instituto de Ecología y Sistemática. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Carretera Varona # 11835, Boyeros, C.P. 11900, La Habana 19, Cuba

RESUMEN: La valoración de los servicios ambientales o ecosistémicos ofrecidos por la biodiversidad es muy importante para el diseño de políticas de conservación y/o para la gestión de los ecosistemas. En este trabajo se realizó un acercamiento a las funciones ambientales y servicios ecosistémicos de las termitas (Insecta: Isoptera) a partir de una revisión sobre aspectos ecológicos del grupo, y además, se plantearon algunas consideraciones sobre la valoración de los servicios que propicia este componente de la diversidad biológica. La importancia de las termitas en los procesos biológicos del suelo y en la sostenibilidad de determinados ciclos biofísicos en los ecosistemas, evidenció su contribución en los servicios ecosistémicos de regulación y soporte fundamentalmente. La valoración de estos servicios recreó con mayor énfasis el valor de uso indirecto y de existencia de los isópteros, que abordaron las potencialidades, rol funcional en los ecosistemas y consecuente conservación de estos organismos, así como de sus funciones ambientales. Por último, se sugirieron de forma muy simple posibles métodos de evaluación económica, como la valoración contingente y las técnicas del costo de viaje y de los bienes sustitutos, tomando en cuenta sobre todo sus valores de uso directo, indirecto y de existencia.

PALABRAS CLAVE: servicios ambientales, termitas, valoración económica-ambiental.

ABSTRACT: The valuation of the environmental or ecosystem services offered by biodiversity is very important for the design of conservation policies and/or for the management of ecosystems. In this work, an approach was made to the environmental functions and ecosystems services of termites based on a review of the group's ecological aspects, and also some considerations were raised about the valuation of the services that this component of biological diversity provides. The importance of termites in soil biological processes and in the sustainability of certain biophysical cycles in ecosystem, evidenced their contribution fundamentally in the regulation and support ecosystem services. The valuation of these services recreated with greater emphasis the value of indirect use and existence of isoptera, which addressed the potentialities, functional role in ecosystems and consequent conservation of these organisms, as well as their environmental functions. Finally, possible economic evaluation methods were suggested in a very simple way, such as contingent valuation and the techniques of the travel cost and substitute goods, taking into account above all their values of direct, indirect use and of existence.

KEY WORDS: economic-environmental valuation, environmental services, termites.

✉ Grisel de la C. Cabrera-Dávila
grisel17@ecologia.cu

Recibido: 07 de noviembre de 2021

Aceptado: 23 de diciembre de 2021



Este es un artículo publicado en acceso abierto
bajo una licencia Creative Commons



CU-ID: [2403/n513e01](https://doi.org/10.2403/n513e01)

INTRODUCCIÓN

ÉNFASIS EN LA IMPORTANCIA FUNCIONAL DE LAS TERMITAS EN LOS ECOSISTEMAS

Las termitas, llamadas comúnmente comejenes, son insectos sociales pertenecientes al Orden Isoptera de la Clase Insecta. De este Orden se han identificado hasta la fecha entre 2300 y 3000 especies a nivel mundial, de las cuales aproximadamente 300 se han declarado como plagas de ambientes urbanos y agrícolas (Verma *et al.*, 2009; Jouquet *et al.*, 2018).

Para Cuba, en los últimos años hubo un incremento en el conocimiento taxonómico del grupo (Hernández, 1994; Krecek *et al.*, 1996; Scheffrahn y Krecek, 1993, 1999, 2001; Krecek y Scheffrahn, 2003; Scheffrahn *et al.*, 2006), y a propósito, Cabrera Dávila y Hernández (2008) realizan una actualización sobre el Orden en el país. Estos autores refieren tres familias de las siete conocidas en el mundo, un registro de 32 especies y un 16 % de endemismo. Además, mencionan que, de las 32 especies listadas, únicamente 31 % pueden ser consideradas plagas potenciales. Otras investigaciones enriquecen la información de la sistemática, biología y ecología de los isópteros en hábitats urbanos, forestales y de montaña (Hernández, 1994; Cruz *et al.*, 2004, 2005; Cabrera Dávila y Canello, 2009; Cabrera Dávila y López Bello, 2013; Cabrera Dávila y Hernández, 2015); y sobre la influencia de diferentes usos y manejos del suelo en estos organismos, como componentes de la macrofauna edáfica (Cabrera Dávila *et al.*, 2007; 2017).

En la literatura internacional, se señala en mayor proporción el daño que causa la actividad de los comejenes y las serias pérdidas económicas que implican como plagas urbanas, forestales y de algunos cultivos; aunque también se defiende el impacto positivo de dichos insectos en numerosas funciones ecológicas. La influencia de las termitas en el funcionamiento de los ecosistemas, tanto naturales como transformados, puede ser considerada por la modificación que causan en la estructura física de los suelos, por su intervención en los procesos de descomposición y humificación de la materia orgánica, en la fijación del nitrógeno y en el flujo del carbono (Brown *et al.*, 2015; Jouquet *et al.*, 2011, 2018). Por estas razones son valorados ingenieros del ecosistema junto con las hormigas y las lombrices de tierra (Jones *et al.*, 1994; Tapia-Coral *et al.*, 2016).

Forman uno de los grupos dominantes dentro de la macrofauna descomponedora en el suelo y representan cerca del 10% de la biomasa animal en los trópicos (Bignell y Eggleton, 2000). Su rol como

descomponedores e ingenieros o modificadores de las propiedades físicas y químicas del medio edáfico, alcanza mayor importancia en los suelos secos tropicales principalmente de zonas agrícolas, a diferencia de las lombrices de tierra que adquieren esta relevancia en los ambientes tropicales húmedos (Evans *et al.*, 2011; Jouquet *et al.*, 2018). El papel funcional de estos insectos estará en dependencia de la composición de especies que albergan las comunidades en los ecosistemas (Okwakol, 2000; Overal, 2001; Frouz, 2018).

Por otra parte, las termitas pueden influir en la distribución de varios nutrientes y en la regulación de los procesos biogeoquímicos, pues en la fabricación de sus nidos emplean fluidos fecales, secreciones salivares; también suelo y/o otros materiales en dependencia de su fuente de alimento, lo que hace que dichas estructuras puedan variar su composición y determinar las funciones anteriormente señaladas (Garnier-Sillam y Harry, 1995; Thorne *et al.*, 1996; Mora *et al.*, 2003; Yamada *et al.*, 2005). El conocimiento de la composición físico-química de las bioestructuras formadas por las termitas, es útil en la comprensión de la selección del tamaño de partículas del suelo empleadas en la construcción de los nidos y su influencia en la capacidad de retención de agua y formación de los suelos. Contribuye además a determinar la dinámica de degradación de la materia orgánica, indicando la función de estas estructuras como posibles reservorios de nutrientes dentro de los ecosistemas (Davies *et al.* 1999; Jouquet *et al.*, 2011, 2018).

De acuerdo con Bignell y Eggleton (2000), Jones *et al.* (2003) y Nogueira-Cardoso *et al.* (2013) los patrones de composición, abundancia y diversidad de las comunidades de isópteros pueden afectarse por modificación de hábitats naturales, por alteración del ambiente edáfico ó cualquier variación con relación al uso de la tierra y diferentes variables ambientales. Diversos autores defienden la utilidad de este grupo zoológico como bioindicadores ecológicos o de alteraciones ambientales precisamente por ser animales pequeños, siempre presentes, muy sensibles a las mínimas modificaciones en el ambiente y respuesta aparentemente previsible a la continua degradación y deforestación, así como por su importancia funcional en los ecosistemas (McGeoch, 2007; Gerlach *et al.*, 2013; Himmi *et al.*, 2020).

La perturbación ambiental y antropogénica no solo influye negativamente en la composición y riqueza de especies, también en la estructura funcional de las comunidades de termitas. Algunos resultados que demostraron esto son la gradual reducción de la riqueza, diversidad y actividad forrajera de las termitas de ecosistemas boscosos a otros hábitats más simplificados y con apertura del

dosel, ecosistemas silvopastoriles y campos agrícolas de regiones de África y América Latina (Muvengwi *et al.*, 2017; Durán-Bautista *et al.*, 2020; LeClare *et al.*, 2020). Asimismo, se comprobó la vulnerabilidad ecológica de las especies humívoras o comedoras de suelo ante la pérdida de la cobertura vegetal e intensificación del uso de la tierra, con respecto a las especies xilófagas o comedoras de madera que resultaron más resilientes (Laffont y Porcel, 2007; Himmi *et al.*, 2020).

No obstante, otros resultados indicaron que en ecosistemas transformados es posible encontrar una alta abundancia de colonias pues en ocasiones, ambientes en regeneración pueden abrigar abundancias superiores de isópteros en comparación con áreas primarias auténticas (Bandeira y Vasconcelos, 2002; Bandeira *et al.*, 2003). En este sentido, Lavelle *et al.* (2003), da Cunha (2006) y Cabrera Dávila (2012) plantean que las termitas pueden adquirir importancia y prevalencia en hábitats perturbados definiendo en ocasiones a estos insectos como organismos oportunistas, invasores y más resistentes a perturbaciones inducidas, en comparación con otros grupos detritívoros de la macrofauna del suelo. Igualmente, señalan a estos organismos como los primeros colonizadores en ambientes deforestados con suficiente material leñoso remanente, interviniendo en su descomposición.

Actualmente el conocimiento de los servicios ambientales que brinda la biodiversidad en sus hábitats resulta de gran utilidad para el diseño de políticas de conservación y/o para la propia gestión de los ecosistemas. La vida, incluyendo la actividad humana, depende de los servicios ecosistémicos, que son bienes y servicios que la naturaleza provee a partir de la compleja relación entre los seres vivos y sus procesos en el ambiente. La disminución de estos organismos o lo que es igual, la pérdida de la biodiversidad, supone una gran afectación de las funciones y resiliencia de los ecosistemas, así como la reducción en la producción de sus bienes y servicios (Ari Noriega *et al.*, 2017). Esta situación, a su vez, tendrá mayor alcance al estimular tendencias socioeconómicas ambientalmente insostenibles y provocar impactos nocivos en los medios de vida de comunidades locales (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2017).

Este artículo resulta un pequeño aporte a la temática recién planteada, pues tiene como objetivos realizar un acercamiento a las funciones y servicios ecosistémicos de las termitas, a partir de su importancia funcional en los ecosistemas; y abordar algunos aspectos referentes a la valoración de los servicios que propicia este componente de la diversidad biológica.

FUNCIONES AMBIENTALES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LAS TERMITAS

Una de las definiciones de servicios ecosistémicos contempla a los componentes de los ecosistemas que se consumen directamente, que se disfrutan, o que contribuyen a generar condiciones adecuadas para sustentar el bienestar del ser humano (Quijas *et al.*, 2010; Costanza *et al.*, 2017); de ahí su pertinente clasificación en servicios de provisión, culturales, de regulación y soporte. Los servicios de provisión y culturales suministran beneficios materiales y directos para las personas, así como beneficios no materiales basados en el enriquecimiento espiritual, la recreación y la apreciación de la belleza, respectivamente; mientras que los servicios de regulación y soporte son aquellos involucrados en garantizar los procesos ecológicos esenciales y con ello la conservación y sostenibilidad de los ecosistemas (MEA, 2005; Martínez-Rodríguez *et al.*, 2017; Díaz *et al.*, 2018). Al analizar el efecto funcional positivo de las termitas en sus hábitats, se deduce que estos insectos contribuyen fundamentalmente con los servicios de regulación y soporte (Tabla 1).

SERVICIOS DE REGULACIÓN Y SOPORTE

Los isópteros intervienen en gran medida en el reciclaje de la madera o descomposición del material leñoso en los ecosistemas, gracias a la asociación que tienen con simbioses intestinales que ayudan en la degradación de la celulosa de los compuestos vegetales. (Maynard *et al.*, 2015; Jouquet *et al.*, 2018). Se ha comprobado que las termitas son altamente abundantes, con densidades de hasta 10 000 ind.m⁻² en sistemas tropicales, siendo responsables del 58-64% de la pérdida total de la madera muerta en los bosques (Griffiths *et al.*, 2019).

La gran abundancia de termitas en los ecosistemas, aliada a la existencia de diferentes simbioses intestinales, confiere a estos insectos la posibilidad de desempeñar importantes papeles como “superdescomponedores” y auxiliares en el balance del Carbono-Nitrógeno. Son útiles en la fijación del nitrógeno gracias a la acción de microorganismos en su intestino; en la descomposición e incorporación de la materia orgánica en el suelo, en el ciclaje de nutrientes y en la modificación de la estructura física del mismo debido a su acción como agentes fragmentadores de la materia orgánica y por la construcción de galerías en el medio edáfico, promoviendo con ello la oxigenación y la infiltración de agua (Davies *et al.*, 1999; Jouquet *et al.*, 2014, 2018; LeClare *et al.*, 2020).

TABLA 1. Funciones ambientales y Servicios ecosistémicos de las termitas

TABLE 1. Environmental Functions and Ecosystem Services of termites

Funciones Ambientales	Servicios Ecosistémicos	Bibliografía
<i>Servicios de Regulación y Soporte</i>		
Degradación de la celulosa de los compuestos vegetales	Descomposición del material leñoso en los ecosistemas	Jouquet et al., 2018 ; Griffiths et al., 2019
Fijación de Nitrógeno y degradación de la materia orgánica	Regulación de los ciclos biogeoquímicos del Nitrógeno y el Carbono en el ecosistema	Jouquet et al., 2018 ; LeClare et al., 2020
Fragmentación y movimiento de la materia orgánica en el suelo, Función como ingenieros del ecosistema construyendo galerías, modificando propiedades edáficas físicas y químicas y permitiendo infiltración de agua y aireación del suelo	Descomposición de la materia orgánica, Control en el movimiento del agua y oxigenación en el suelo, Prevención de la erosión del suelo, Estructuración y sustento de la fertilidad del suelo	Jones et al., 1994 ; Jouquet et al., 2014
Bioindicadores ante el cambio del uso de la tierra y el manejo del suelo	Indicación y regulación de la calidad del suelo	Gerlach et al., 2013 ; Himmi et al., 2020
Indicadores como especies benéficas o nocivas en el ecosistema	Regulación de la alteración ambiental, Conservación y gestión del ecosistema	Bignell y Eggleton, 2000 ; Jones et al., 2003
Construcción de termiteros como reservorios de nutrientes	Reciclaje de nutrientes, Formación del suelo, Mantenimiento de la fertilidad del suelo	Yamada et al., 2005 ; Jouquet et al., 2011, 2018
Construcción de termiteros	Provisión de hábitat para la biodiversidad, principalmente para vertebrados e invertebrados	Jouquet et al., 2011, 2018
<i>Servicios de Provisión</i>		
Digestión de la celulosa y concentración de biomasa	Servir de alimento a diferentes organismos en la naturaleza como anfibios, reptiles, aves, mamíferos, incluyendo el hombre	Jouquet et al., 2011 ; Govorushko, 2019
<i>Servicios Culturales</i>		
Construcción de nidos o termiteros compactos y de gran dimensión	Adquisición e incremento de conocimiento educativo y científico, Ecoturismo, Fotos de Naturaleza	Jouquet et al., 2011

Debido a su capacidad de transformar la estructura del hábitat son incluidos entre los ingenieros del ecosistema, afectando la disponibilidad de recursos para otros organismos más pequeños a través de las modificaciones físicas en materiales bióticos y abióticos. En general, ayudan en el condicionamiento de la fertilidad química y física del suelo, el cual constituye un recurso importante en el desarrollo de los asentamientos humanos ([Jones et al., 1994](#); [Jouquet et al., 2014](#)).

Las termitas pueden tener uso como bioindicadores de calidad o alteración ambiental, identificando áreas críticas para la conservación biológica y siendo útiles en el monitoreo y en la recuperación ambiental. En sí el estudio de la composición taxonómica y funcional de las comunidades de isópteros, podría identificar áreas de importancia para el manejo o la conservación ya sea por la incidencia de especies plagas o por sus valores en diversidad, endemismo y función ecológica. Dependiendo del papel que la especie indicadora

ejercer en el ambiente puede ser especie benéfica (descomponedora, indicadora de calidad o perturbación del suelo) o nociva (plaga) ([Bignell y Eggleton, 2000](#); [Jones et al., 2003](#); [Gerlach et al., 2013](#); [Himmi et al., 2020](#)).

La identificación de las termitas plagas en áreas forestales y la dimensión del daño que causan, son elementos para tener en cuenta para la explotación de los bosques en sus diversos usos madereros por parte de comunidades locales ([Bignell y Eggleton, 2000](#); [Jones et al., 2003](#)).

La variación y conjugación de materiales que las termitas usan en la fabricación de sus nidos hace que los termiteros constituyan importantes reservorios de nutrientes en los ecosistemas. Los termiteros usualmente están enriquecidos en arcilla, cationes intercambiables y macronutrientes, comparado con los primeros niveles del suelo circundante. Muchos campesinos usan los termiteros como abonos orgánicos para sus cultivos ([Mora et al., 2003](#); [Yamada et al., 2005](#); [Jouquet et al., 2011, 2018](#)).

Los termiteros sirven de refugio o hábitat para gran cantidad de otros insectos inquilinos que conviven a la par con los isópteros, así como una vez abandonados o senescentes estas estructuras continúan actuando como refugio o lugar de cría para diversas especies de vertebrados. Pueden ser útiles también como sustrato para el establecimiento de varios tipos de plantas (Jouquet *et al.*, 2011, 2018).

SERVICIOS DE PROVISIÓN

Debido a la capacidad poco común de las termitas de digerir la celulosa, ellas direccionan para sí gran parte del flujo de energía, concentrando una biomasa elevada y sirviendo de alimento para diferentes organismos en la naturaleza (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) y para animales domésticos, algunos de ellos pudiendo constituir fuente de alimento para el hombre. Incluso pueden contribuir en la alimentación directa del ser humano (Jouquet *et al.*, 2011; Govorushko, 2019).

SERVICIOS CULTURALES

En algunas partes del mundo, especialmente de Australia y África, la construcción de los termiteros puede contribuir al desarrollo del ecoturismo a través de la fotografía de naturaleza al captar la dimensión y forma de los nidos (Jouquet *et al.*, 2011).

VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES DE LAS TERMITAS

La valoración económica-ambiental de la biodiversidad y de los servicios que esta provee redundan en beneficios para la especie humana, ya sean beneficios reales o potenciales. Los organismos que integran la biota tienen propiedades que los dotan de múltiples valores, que se reconocen como valores de uso directo, indirecto, de opción y de no uso o de existencia; los que a su vez integran el valor económico total del servicio ambiental propiciado por la biodiversidad (Toledo, 1998; Naredo, 2002). El valor de uso directo deriva de bienes que pueden ser extraídos, consumidos o disfrutados directamente, mientras que el de uso indirecto conocido también como valor funcional, está relacionado con el papel de la biodiversidad en la sustentabilidad de los ciclos biofísicos en los ecosistemas. Por su parte, el valor de opción contempla la preservación de posibilidades de utilidades futuras y el valor de existencia representa la medida en que la sociedad está dispuesta a pagar por la conservación del recurso, con independencia de su uso para la producción o el consumo (Toledo, 1998). En las termitas son importantes sus valores de uso directo, indirecto y de existencia, que reflejan sus servicios de provisión, regulación y soporte.

El *valor de uso directo* de las termitas radica en su aprovechamiento como alimento para diversas especies de vertebrados. Algunas constituyen fuentes de alimento para el hombre, aunque se debería tener cuidado con su extracción natural para mantener este fin. También la estructura, forma y dimensión de los nidos que construyen, representan un valor recreativo y educativo a través de la contemplación, de la fotografía y de la adquisición de conocimientos. Este aspecto, incluso, puede ser aprovechado en el desarrollo del ecoturismo.

Desde el punto de vista de *uso indirecto*, los isópteros desempeñan un importante papel en el reciclaje de la madera y en el mantenimiento y mejoramiento de la fertilidad del suelo, el cual es recurso vital para la subsistencia de la especie humana. Actúan en la fijación de nitrógeno. Pueden ser usados como bioindicadores de calidad o alteración ambiental, teniendo en cuenta su presencia como especie nociva o plaga y el daño que cause en la madera, que limite el uso de esta para distintos fines. Actúan en la preservación de otra fauna, al crear con sus nidos condiciones propicias de refugio y alimento para diferentes especies de invertebrados y vertebrados. Sus nidos son, además, reservorios de nutrientes en los ecosistemas y sirven de abono para el crecimiento vegetal.

Con respecto al *valor de opción*, el mantenimiento de determinadas especies de termitas y el manejo adecuado de otras es valioso en la preservación de la función ecológica que estos organismos desempeñan en los ecosistemas. Ello puede contribuir a incrementar el conocimiento del papel funcional del grupo para su uso potencial futuro.

El *valor de no uso o de existencia* se manifiesta a través de la importancia de la conservación de Isoptera como parte de la biodiversidad y por la función ecológica que ejercen algunas especies en los ecosistemas. Las personas admiten a estos insectos como plagas destructivas, principalmente por el desconocimiento que poseen de su importancia ecológica. Algunos autores plantean que no se conocen, principalmente para algunos países de Latinoamérica, pérdidas económicas considerables por la acción nociva de Isoptera en el campo forestal y agrícola (Constantino, 2002; Miranda *et al.*, 2004).

Estas categorías de valor adquieren importancia o quedan implícitas en el análisis de los distintos métodos, técnicas o enfoques de valoración económica de los recursos y servicios ambientales. Entre estas técnicas se encuentran la valoración contingente, los métodos del costo de viaje, de costos evitados o inducidos, de costos de oportunidad, de los bienes sustitutos, de los precios hedónicos, de la función de producción, y de beneficio-coste-efectividad (Costanza *et al.*, 1997; Toledo, 1998; Casimiro, 2002; Naredo, 2002; Takeda, 2003). Para

los isópteros un método posible a utilizar sería el de la valoración contingente, que establece el valor del servicio mediante la creación de un mercado simulado, y preguntando a los demandantes o consumidores sus preferencias o disposiciones a pagar por obtener un bien ambiental (Toledo, 1998; Casimiro, 2002).

La sugerencia de la valoración contingente para las termitas podría contemplar los beneficios derivados de su conservación, por sus potencialidades y rol funcional en los ecosistemas. Implicaría el análisis de sus servicios como alimento para algunas especies de vertebrados, su papel en la descomposición de la madera, en la fijación del nitrógeno, en el mantenimiento de la fertilidad del suelo e indicación y regulación de la calidad de este, y en la preservación de diferentes especies de invertebrados y vertebrados al brindarles refugio a través de sus nidos. Se considerarían entrevistas o encuestas para conocer la opinión de la población sobre el valor o la importancia que les confieren a estos insectos y determinar cuánto estaría dispuesta a pagar por la conservación de este componente de la biodiversidad, a partir de su función ambiental y servicios que provee en el ecosistema. Otros probables métodos de valoración económica podrían ser el de costo de viaje y bienes sustitutos, estimando el valor recreativo de la forma y dimensión de los termiteros, y el uso de estos como abono natural para el crecimiento vegetal, respectivamente.

CONSIDERACIONES FINALES

Las funciones ambientales de las termitas, relacionadas principalmente con su intervención en los procesos biológicos del suelo y en la sostenibilidad de determinados ciclos biofísicos en los ecosistemas, les da mayor importancia a estos insectos en la contribución de los servicios ecosistémicos de regulación y soporte. Así, en la valoración de tales servicios se destaca principalmente su valor de uso indirecto y de existencia, para lo cual se consideran los beneficios derivados de la conservación de los isópteros, por sus potencialidades y rol funcional en los ecosistemas. A pesar de las simples sugerencias de la valoración contingente, de la técnica del costo de viaje y de los bienes sustitutos como posibles enfoques de evaluación económica-ambiental de los servicios ecosistémicos de los isópteros, se recomienda en el futuro un análisis más profundo en este sentido, donde se tome en cuenta el beneficio ambiental que causan estos insectos y su repercusión en el desarrollo sustentable de las comunidades locales.

REFERENCIAS

- Ari Noriega, J., Hortal, J., Martín F., Berg, M.P. (2017). Research trends in ecosystem services provided by insects. *Basic and Applied Ecology*, 26, 8-23
- Bandeira, A.G. y Vasconcelos, A. (2002). A quantitative survey of termites in a gradient of disturbed higland forest in northeastern Brasil (Isoptera). *Sociobiology*, 39, 429-439.
- Bandeira, A.G., Vasconcellos, A., Silva M.P. y Constantino, R. (2003). Effects of habitat disturbance on the termite fauna in a highland humid forest in the Caatinga Domain, Brazil. *Sociobiology*, 42(1), 117-127.
- Bignell, D.E. y Eggleton. P. (2000). Termites in ecosystems. En: Abe, T, Bignell, D.E. y Higashi, M. (Eds.), *Termites, Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology* (pp. 363-387). Kluwer Academic Publishers
- Brown, G.G., Niva, C.C., Zagatto, M.R.G., de Almeida, S., Nadolny, H.S., Xarão, G.B., Santos, A., de Andrade, G., Pasini, A., Carolina, M.L., Dietter, K., Thomazini, M.J., Baretta, D., da Silva, E., Inês, Z., Decaëns, T., Marie, P., Paulo, J., Carvalho, F. (2015). Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. En: Parron, L.M., García, J., Oliveira, E., Brown, G.G., Prado, R.B. (Eds.) *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica* (pp. 121-154). Embrapa.
- Cabrera-Dávila, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35(4), 349-364.
- Cabrera-Dávila, G. y Hernández, A. (2008). Conocimiento actual del orden Isoptera (Insecta) en Cuba. *Cocuyo*, 17, 16-25.
- Cabrera-Dávila, G. y Hernández, A. (2015). Fauna de termitas (Insecta: Isoptera) de áreas montañosas de Cuba. *Poeyana*, 500, 11-18.
- Cabrera-Dávila, G. y Canello. E.M. (2009). Termitas (Isoptera) de Topes de Collantes, provincia de Sancti Spíritus, Cuba central. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 44, 567-568.
- Cabrera-Dávila, G., Martínez M.A y Rodríguez, C. (2007). La macrofauna del suelo en sistemas agroecológicos en Cuba. *Brenesia*, 67, 45-57.
- Cabrera-Dávila, G. y López-Bello, M. (2013). Aspectos de la taxonomía, distribución y biología de las termitas (Insecta: Isoptera) del Centro Histórico de La Habana, Cuba. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 53, 253-258.

- Cabrera-Dávila, G., Socarrás, A.A., Hernández, G., Ponce de León, D., Menéndez, Y.I. y Sánchez, J.A. (2017). Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 118-126.
- Casimiro, A. (2002). *Fundamentos y Métodos para la valoración de bienes ambientales* [Archivo PDF]. Recuperado de <https://www.eprints.ucm.es>.
- Constantino, R. (2002). The pest termites of South American: taxonomy, distribution and status. *Journal of Applied Entomology*, 126, 355-365.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso M., Hannon, B., Limburg K., Naeem S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, Sutton P., y van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., L. Fioramonti, Sutton, P., Farber, S., Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Cruz, H., Triguero, N., López, R., Berrios, M del C., Varela, Y. (2004). Lista Anotada de los Termites en Cuba. *Fitosanidad*, 8(2), 3-8.
- Cruz, H., Marín, I.V., Santos, I.P., Martínez, J.P. y Triguero, N. (2005). Nuevos registros de termites asociados a formaciones vegetales de la Reserva Ecológica de Varahicacos. *Revista Forestal Baracoa*, 24(1), 67-72.
- da Cunha, H.F., Costa D.A. y Brandão, D. (2006). Termite (Isoptera) assemblages in some region of the Goiás State, Brazil. *Sociobiology*, 47(2), 505-518.
- Davies, R.G., Eggleton, P., Dibog, L., Lawton, J.H., Bignell, D.E., Brauman, A., Hartmann, C., Nunes, L., Holt, J. y Rouland, C. (1999). Successional response of a tropical forest termite assemblage to experimental habitat perturbation. *Journal of Applied Ecology*, 36, 946-962.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martin-Lopez, B., Watson, R.T. y Molnár Z. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359, 270-272.
- Durán-Bautista, E.H., Muñoz, Y., Galindo, J.D., Ortiz, T.A. y Bermúdez. M.F. (2020). Soil physical quality and relationship to changes in termite community in Northwestern Colombian Amazon. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.598134>.
- Evans, T.A., Dawes, T.Z., Ward P.R. y Lo. N. (2011). Ants and termites increase crop yield in a dry climate. *Nature Communications*, 2, 262. <https://doi.org/10.1038/ncomms1257>.
- Frouz, J. (2018). Effects of soil macrofauna plant interactions on soil formation and plant community development during primary succession in post mining sites. *EGU General Assembly*, 20, 5298.
- Garnier-Sillam, E. y Harry, M. (1995). Distribution of humid compounds in mounds of some soil feeding termite species of tropical rainforest: its influence on soil structure stability. *Insectes Sociaux*, 42, 167-185.
- Gerlach, J., Samways, M. y Pryke, J. (2013). Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation*, 17, 831-850.
- Govorushko, S. (2019). Economic and ecological importance of termites: A global review. *Entomological Science*, 22(1), 21-35.
- Griffiths, H.M, Ashton, L.A., Evans, T.A., Parr, C.L. y Eggleton, P. (2019). Termites can decompose more than half of deadwood in tropical rainforest. *Current Biology*, 29, 105-119.
- Hernández, L.M. (1994). Una nueva especie del género *Incisitermes* y dos nuevos registros de termites (Isoptera) para Cuba. *Avicennia*, 1, 87-99.
- Himmi, S.K., Wikantyoso, B., Fajar, A., Tarmadi, D. y Yusuf. S. (2020). Functional structures of termite assemblage in changing habitats and ecosystems. The 7th Symposium of JAPAN-ASEAN Science Technology Innovation Platform (JASTIP). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 591. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/591/1/012049>.
- Jones, C.G., Lawton, J.H. y Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, 373-386.
- Jones, D.T, Susilo, F.X., Bignell, D.E., Suryo, H., Gillison, A.N. y Eggleton, P. (2003). Termite assemblage collapse along a land use intensification gradient in lowland central Sumatra, Indonesia. *Journal of Applied Ecology*, 40, 380-391.
- Jouquet, P., Blanchart, E. y Capowiez, Y. (2014). Utilization of earthworms and termites for the restoration of ecosystem functioning. *Applied Soil Ecology*, 73, 34-40.
- Jouquet, P., Chaudhary, E. y Vinoda, A.R. (2018). Sustainable use of termite activity in agro-ecosystems with reference to earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 3. DOI: [10.1007/s13593-017-0483-1](https://doi.org/10.1007/s13593-017-0483-1).
- Jouquet, P., Traore, S., Choosai, C., Hartmann, C. y Bignell, D. (2011). Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. *European Journal Soil and Biology*, 47(4), 215-222.

- Krecek, J. y Scheffrahn, R. (2003). *Neotermes phragmosus*, a new dampwood termite (Isoptera: Kalotermitidae) from Southeastern Cuba. *Florida Entomologist*, 86(1), 73-79.
- Krecek, J., Scheffrahn, R. y Roisin, Y. (1996). Greater Antillean Nasutitermitinae (Isoptera: Termitidae): *Constrictotermes guantanamensis*, a new subterranean termite from eastern Cuba. *Florida Entomologist*, 79(2), 180-187.
- Laffont, E.R. y Porcel, E.A. (2007). Diversidad de termitas (Isoptera) en pastizales del nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(1), 82-85.
- Lavelle, P., Senapati, B. y Barros, E. (2003). Soil Macrofauna. En: Schroth, G. y Sinclair, F.L. (Eds.) *Trees, Crops and Soil Fertility. Concepts and Research Methods* (pp. 303-323). CABF Publishing.
- LeClare, S.K., Mdluli, M., Wisely, S.M. y Stevens, N. (2020). Land-use diversity within an agricultural landscape promotes termite nutrient cycling services in a southern African savana. *Global Ecology and Conservation*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00885>.
- Martínez-Rodríguez, M.R., Viguera, B., Donatti, C.I., Harvey C.A. y Alpizar, F. (2017). Módulo 3. La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura. *Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE)*. CATIE, Turrialba. <https://hdl.handle.net/11554/9550>.
- Maynard, D.S., Crowther, T.W., King, J.R., Warren, R.J. y Bradford, M.A. Temperate forest termites: ecology, biogeography, and ecosystem impacts. *Ecological Entomology*, 40(3), 199-210.
- McGeoch, M.A. (2007). Insects and bioindication: theory and progress. En: Stewart, A.J.A., New, T.R. y T. Lewis, (Eds.) *Insect conservation biology. Proceedings of the royal entomological society's 23rd symposium* (pp.144-174). Wallingford. CAB International.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ma conceptual framework. En: Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (Eds.), *Current State & Trends Assessment* (pp. 25-36). Washington D.C. United States. Island Press.
- Miranda, C.S., Vasconcellos A. y Bandeira. A.G. (2004). Termites in sugar cane in Northeast Brazil: ecological aspects and pest status. *Neotropical Entomology*, 33(2), 237-241.
- Mora, P., Seugé, C., Chotte, J.L. y Rouland. C. (2003). Physico-chemical typology of the biogenic structures of termites and earthworms: a comparative analysis. *Biology and Fertility of Soils*, 37, 245-249.
- Muvengwi, J., Mbiba, M., Ndagurwa, H.G.T., Nyamadzawo, G. y Nhokovedzo, P. (2017). Termite diversity along a land use intensification gradient in a semi-arid savannah. *Journal of Insect Conservation*, 21, 801-812.
- Naredo, J.M. (2002). Economía y sostenibilidad. La economía ecológica en perspectiva. En: Azqueta, D. y Casado, J.M. (Eds.), *Estudios sobre política ambiental en España, Consejo General de Colegio de Economistas* (pp. 13-44). Madrid.
- Nogueira-Cardoso, E.J.B., Figueiredo, R.L., Bini, D., Horta, M.Y., Alcantara, C., Lopes, P.R., Monteiro, A., Shigueyoshi, A., de Moraes J., Nogueira, M.A. (2013). Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*, 70(4), 274-289.
- Okwakol, M.J.N. (2000). Change in termite (Isoptera) communities due to the clearance and cultivation of tropical forest in Uganda. *African Journal of Ecology*, 38, 1-7.
- Overall, W.L.O. (2001). O peso dos invertebrados na balança de conservação biológica da Amazônia. En: Capobianco, J.P.R., verissimo, A., Moreira, A., Sawyer, D., do Santo, I. y Pinto, L.P. (Eds.), *Biodiversidade na Amazônia Brasileira. Avaliação e Ações prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios* (pp.50-58) Instituto Socio-Ambiental/Estação Liberdade.
- Quijas, S., Schmid, B. y Balvanera, P. (2010). Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. *Basic and Applied Ecology*, 11, 582-593.
- Scheffrahn, R. y Krecek. J. (1993). *Parvitermes subtilis*, a new subterranean termite (Isoptera: Termitidae) from Cuba and the Dominican Republic. *Florida Entomologist* 76(4), 603-607.
- Scheffrahn, R. y Krecek. J. (1999). Termites of the genus *Cryptotermes* Banks (Isoptera: Kalotermitidae) from the West Indies. *Insecta Mundi*, 13(3-4), 111-171.
- Scheffrahn, R. y Krecek. J. (2001). New World Revision of the termite genus *Procryptotermes* (Isoptera: Kalotermitidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 94(4), 530-539.
- Scheffrahn, R.; Krecek. J., Chase, J.A., Maharajh, B. y Mangold, J. (2006). Taxonomy, biogeography, and notes on termites (Isoptera: Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Termitidae) of the Bahamas and Turks and Caicos Islands. *Annals of the Entomological Society of America*, 99(3), 463-486.
- Takeda, L. (2003). *Political Ecological Economics: An Emerging Transdisciplinary Approach to Sustainability*. The Interdisciplinary Journal of International Studies, 1, 57 pp.
- Tapia-Coral, S.C, Teixeira, L.A., Velásquez, E. y Waldez, F. (2016). Macroinvertebrados del suelo y

- sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(Suplemento), 260-267.
- Thorne, B.L., Collins, M.S. y Bjorndal, K. A. (1996). Architecture and nutrient analysis of arboreal carton nests of two neotropical *Nasutitermes* species (Isoptera: Termitidae) with notes on embedded nodules. *Florida Entomologist*, 79(1), 27-37.
- Toledo, A. (1998). *Economía de la Biodiversidad. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe*. PNUD.
- Verma, M., Sharma, S. y Prasad, R. (2009). Biological alternatives for termite control: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(8), 959-972.
- Yamada, A., Inoue, T., Wiwatwitaya, D., Ohkuma, M., Kudo, T. (2005). Carbon mineralization by termites in tropical forests, with emphasis on fungus combs. *Ecological Research*, 20, 453-460.