



Ants as environmental indicators to change land use

Las hormigas como bioindicadores ante el cambio de uso de suelo

Emilia Areli Martínez-Bolaños¹, Cecilia Díaz-Castelazo², Mariana del Socorro Cuautle-Arenas³, Carlos Alberto Lara-Rodríguez^{4*}.

¹Maestría en Biotecnología y Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.

²Redes de Interacciones Multitroficas. Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México.

³Departamento de Químico Biológicas, Universidad de las Américas Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México.

⁴Centro de Investigación en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, San Felipe Ixtacuixtla, Tlaxcala. Email: *laracar@posgradouatx.com.mx

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.1.89>

ABSTRACT

The Formicidae family has dominated a large majority of environments, where they can survive, and are considered organisms with a wide distribution due to their high and complex social capacity. This review gathers information on its biology and importance as bioindicators in conserved and modified environments, highlighting its potential role as an indicator of change in land use, one of the major challenges currently faced by man.

Keywords: Ants as bioindicators, biological indicators, formicidae family, land use change.

RESUMEN

La familia Formicidae ha dominado una gran mayoría de ambientes, donde estas pueden sobrevivir, así mismo, se les considera organismos con una amplia distribución debido a su alta y compleja capacidad social. En la presente revisión se reúne información sobre su biología e importancia como bioindicadores en ambientes conservados y modificados, puntualizando su potencial papel como indicador del cambio en el uso del suelo, uno de los grandes retos actualmente enfrentados por el hombre.

Palabras clave: hormigas como bioindicadores, indicadores biológicos, familia Formicidae, cambio de uso de suelo.

1. INTRODUCCIÓN

Un atributo que resalta la importancia de los insectos para el hombre es su capacidad de funcionar como indicadores ecológicos o bioindicadores (Brown, 1991; Holloway & Stork, 1991; Kremen *et al.* 1993; Samways, 1993). Un bioindicador es una especie o grupos de especies que refleja el estado abiótico y biótico de un ambiente, es sensible a los cambios ambientales en el ecosistema donde habita y es indicativo de la diversidad de un taxón de un lugar determinado (McGeoch, 1998). Otros criterios utilizados para definir un taxón como bioindicador comprenden: que se cuente con un buen conocimiento de su taxonomía e historia natural, la facilidad para observarlo y manipularlo, pertenencia a un grupo con amplia distribución geográfica, y que muestre sensibilidad a cambios del ambiente y patrones de biodiversidad reflejados sobre otros taxones (géneros o especies) (Pearson, 1994; Halfpeter *et al.* 2001).

Las hormigas (Hymenoptera) son uno de los grupos de insectos que cumplen con las condiciones requeridas para reflejar lo que sucede a otros grupos en ambientes cambiantes o para detectar centros de concentración de especies raras y endemismos (Majer, 1983; Andersen, 1990; Brown, 1991). Dentro de la macrofauna edáfica, las hormigas son siempre uno de los grupos más abundantes y diversos, tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas (Lavelle & Kohlman, 1984; Camacho, 1995; Delabie & Fowler, 1995). En estos sistemas desempeñan un papel muy importante como depredadoras, herbívoras o detritívoras, y participan en los procesos fisicoquímicos del suelo, incluyendo la descomposición y el reciclaje de nutrientes (Lobry de Bruyn & Conacher, 1990; Brussard *et al.* 1997). Las hormigas, son ideales para monitorear cambios ambientales, debido a que muchas especies son poco tolerantes a estos cambios respondiendo rápidamente a las alteraciones ya sea naturales o de origen antrópico (Kaspary & Majer, 2000). Por consiguiente, la presente revisión pretende dar un panorama sobre la importancia del estudio de las hormigas y su función como organismos bioindicadores ante cambios antropogénicos.

2. ASPECTOS GENERALES: HORMIGAS

Entre los insectos, el orden Hymenoptera cuenta con 132 familias y 8,423 géneros, ocupa el tercer puesto en cuanto a número de especies (más de 150,000 especies identificadas) y es el orden más difundido y diversificado en nuestro planeta. Especies de hormigas, abejas y avispas conforman este grupo, quienes representan a los insectos con el más importante efecto sobre las demás formas de vida terrestre, incluido el hombre. Por ejemplo, su intensa actividad subterránea ocasionan un fuerte impacto en el suelo (e indirectamente en la vegetación y todas las formas de vida acompañantes), como producto de las actividades que llevan a cabo como el desmenuzamiento, mezcla y aireación. (Klots & Klots, 1960). Dentro de los himenópteros destaca por su diversidad la familia Formicidae (dentro de la familia Vespoidea), representada por las hormigas. Estos insectos se encuentran en todos los hábitats, desde el ecuador a los polos (Cuezzo, 1998).

2.1. Familia Formicidae

De este grupo taxonómico se documenta que existen algo más de 11,500 especies, descritas en 21 subfamilias vivientes (Fernández & Sharkey, 2006); y para el Neotrópico se registran unas 3,100 especies y 120 géneros (Díaz *et al.* 2009). Se consideran uno de los insectos con mayor diversidad específica y ecológica en las latitudes tropicales, al constituir alrededor del 15% de la biomasa animal total (Villareal *et al.* 2006).

2.2. Biología

Todas las hormigas son sociales; algunas especies son parasíticas. Las colonias se componen de una reina fértil, obreras infértiles, huevos, larvas y pupas, y machos en épocas determinadas (Fernández & Palacio, 2014).

Reina. Normalmente los nidos son monogínicos (una sola reina), monándricos (un sólo apareamiento con machos) y con alto grado de relación genética entre las obreras. Se han ido descubriendo casos en los que los nidos son poligínicos (múltiples reinas) temporal o definitivamente, poliándricos (apareamiento con varios machos) y con bajo grado de relación genética entre los miembros de la colonia (Jaffé, 1993).

Obreras. Las obreras son hembras esteriles, sin capacidad de reproducción plena ya que, en el caso de las hembras ovipositoras, sus huevos son tróficos o solo producen machos.

Castas. Soldados, individuos más grandes que las obreras, poseen mandíbulas y músculos mandibulares bien desarrollados, que las hacen tener cabezas muy grandes se especializan en la defensa contra posibles depredadores (géneros *Pheidole* y *Atta*); las almacenadoras de alimento, almacenan miel y néctar en su buche ensanchable (*Myrmecocytus* y algunas *Camponotus*); otras cuidan la entrada y tienen a veces cabezas especialmente diseñadas para funcionar como puertas de entrada a las galerías (algunas *Zacryptocerus* y *Camponotus truncatus*); otras se especializan en transportar alimentos pues poseen mandíbulas especialmente formadas para ello y patas largas para cargar el alimento debajo de su cuerpo cual grúas (los soldados de *Eciton*) (Jaffé, 1993).

Alados. Son los individuos sexualmente activos, provistos de alas para el vuelo nupcial que lleva a la cópula, solamente aparecen en la época reproductiva. Antes de dicho vuelo. Las reinas aladas o vírgenes son reinas no fecundadas. Los machos, también alados, tienen cabezas mucho más pequeñas que las reinas y obreras. Y su gaster está formado básicamente por el órgano copulador y el reservorio de semen. Los machos son poco activos y su función esencial es la de fecundar a las reinas vírgenes, después de lo cual mueren (Jaffé, 1993).

Morfología. La mayoría de géneros de hormigas son monomórficos, esto es, obreras de tamaños parecidos o sólo ligeramente divergentes; algunos son dimórficos (dos tamaños discretos de obreras) como en *Pheidole*, *Carebara* y *Cephalotes*. En los casos de varias clases de tamaños (generalmente en gradación entre los extremos) se habla de polimórficos, como en *Eciton*, *Atta*, *Azteca* y *Camponotus* (Fernández & Palacio, 2014).

2.3. Hábitos que las clasifican

Ganaderas. Muchas especies son asiduas visitadoras de insectos chupadores, es por ello que algunos autores las describen como “cuidadoras de ganado”, ya que no solo recolectan las secreciones de los homópteros y hemípteros, sino que también los protegen de depredadores y parásitos, algunas transportan a sus insectos chupadores a sitios más productivos y protegidos sobre la planta, construyéndole refugios especiales. Cuando las hormigas tienen deficiencia proteica sacrifican a uno de sus insectos chupadores y lo ingieren (por ejemplo, Formicinae) (Jaffé, 1993).

Esclavistas. Muchas Formicinae y Myrmicinae capturan obreras de otras colonias y las esclavizan. Algunas especies esclavistas han perfeccionado esta forma de parasitismo ya que no producen obreras, sino que la reina, al invadir la colonia de la especie a parasitar, mata a la reina residente y utiliza la fuerza obrera de la colonia parasitada para cuidar a su propia cría (Jaffé, 1993).

Cultivadoras de hongos. Todas las especies de la tribu Attini cultivan un hongo simbiote para alimentar a sus crías y parcialmente a los adultos. Estas hormigas cortan hojas, que preparan removiendo la cera superficial, cargada normalmente de fungicidas y le añaden enzimas digestivas, salivando y excretando sobre ellas. La pulpa vegetal que contiene frecuentemente insecticidas sistémicos, es ofrecida al hongo. Las larvas se alimentan básicamente de este hongo, mientras que las obreras se alimentan en gran parte de azúcares en la savia de las hojas que cortan. Estas hormigas construyen nidos especiales, regulando las condiciones de humedad, temperatura y concentración de dióxido de carbono y evitando la contaminación por otros hongos y bacterias, gracias a secreciones de antibióticas de sus glándulas metapleurales, para permitir el crecimiento óptimo del hongo (Jaffé, 1993).

Granívoras. Son por excelencia las especies de *Pogonomyrmex* (Myrmicinae), aunque otras como las *Conomyrma* (Dolichoderinae) y *Solenopsis* (Myrmicinae) pueden ocasionalmente también coleccionar granos. Estas especies recolectan granos de gramíneas y de otras plantas. Los llevan a su nido y almacenan. Se alimentan de ellas de forma exclusiva o parcial y en muchos casos juegan un papel importante en la dispersión de las plantas cuyas semillas recolectan, ya que, en o cerca del nido, la semilla encuentra las condiciones propicias para su germinación y crecimiento. Por lo general, estas hormigas poseen adaptaciones morfológicas específicas en las mandíbulas y en las patas delanteras que facilitan el transporte y ruptura de las semillas. La myrmecoria o especialización de las plantas para dispersar sus semillas mediante las hormigas, nace probablemente del comportamiento de las hormigas granívoras. Sin embargo, las semillas de las plantas myrmecoras tienen atrayentes especiales que las hace ser cargadas inclusive por hormigas no granívoras (Jaffé, 1993).

2.4. Diagnósis

Las hormigas tienen características morfológicas distintas de otros insectos. Por ejemplo, tienen cabeza prognata en hembras y obreras; antenas con un segmento basal (escapo) largo que forma un ángulo con el pedicelo y el flagelo, este último compuesto de 4 a 12 segmentos en hembras y 9 a 13 en machos. Presentan ocelos en hembras y machos y obreras de

algunos grupos. Tienen alas presentes en la mayoría de hembras y todos los machos, ausentes en algunas hembras y siempre en obreras.

Las alas tienen 0 a 2 celdas presentes; ala posterior generalmente sin lóbulos. Asimismo, cuentan con una glándula metapleurale presente (secundariamente perdida en algunos grupos) con apertura en el propodeo, sobre las coxas posteriores. El mesosoma y metasoma están separados por un pecíolo (segundo segmento abdominal), o pecíolo y postpecíolo (tercer segmento abdominal). El pecíolo y postpecíolo a menudo con nudo. Las hembras son muy similares a las obreras, aunque siempre con ocelos y mesosoma robusto y con alas; y cuando está fecundada pierde las alas. Los machos difieren notoriamente de las hembras, ojos y ocelos grandes, siempre alados, cuerpos más pequeños y esbeltos (Fernández & Palacio, 2014)

3. INDICADORES BIOLÓGICOS

Los indicadores biológicos o ambientales son atributos de los sistemas biológicos que se emplean para descifrar factores de su ambiente. Inicialmente, se utilizaron especies o asociaciones de éstas como indicadores y, posteriormente, comenzaron a emplearse también atributos correspondientes a otros niveles de organización del ecosistemas, como poblaciones, comunidades, etc., lo que resultó particularmente útil en estudios de degradación o contaminación. Por lo tanto, la capacidad de identificar de manera adecuada los indicadores del entorno es fundamental para tomar mejores decisiones sobre su manejo, restauración o conservación. En el campo ambiental se han desarrollado indicadores para entender, describir y analizar distintos fenómenos como el clima, la pérdida de suelos y el riesgo de especies, entre muchos otros. Si bien el uso de indicadores ambientales se ha extendido, no existe una definición única del concepto y éste varía de acuerdo a la institución y a los objetivos específicos que se persiguen (SEMARNAT, 2005). Teniendo ya un panorama un poco más amplio sobre lo que un indicador puede aportar, nos enfocaremos hacia las denominadas especies indicadoras, las cuales son organismos cuyas características (presencia o ausencia, densidad de población o dispersión), son utilizadas para obtener información sobre el estado de la calidad del ambiente (Landres *et al.* 1988).

3.1. Organismos como indicadores biológicos

Los insectos son los animales que se encuentran mejor representados en la Tierra. Abundan en casi todos los ambientes y explotan casi todas las fuentes de alimento posibles. (Klots & Klots, 1960). Dentro de los Organismos que se toman en cuenta como indicadores biológicos se encuentran los invertebrados que integran la macrofauna del suelo, y algunos manifiestan rasgos que justifican su utilización como indicadores biológicos.

Los organismos indicadores se dividen en tres grandes grupos, en virtud de lo que indican. Por ello, se cuenta con: (1) los indicadores ambientales, que indican cambios en el estado del ambiente; (2) los indicadores ecológicos, quienes destacan el impacto de un factor de fragmentación, estrés o perturbación de un ecosistema; y (3) los indicadores de biodiversidad, que estiman la diversidad de otras taxas en un ecosistema (Arcila & Lozano-Zombrado, 2003).

Como indicadores biológicos del estado de conservación/perturbación del suelo, la macrofauna edáfica debe estar relacionada con atributos físicos y químicos de este, que a la

vez manifiestan la productividad del ecosistema. Dentro de este tipo de organismos se encuentran las lombrices de tierra, que por ser de cuerpo blando y limitada movilidad, son afectadas por factores como el clima, la alimentación, la humedad, la textura y las condiciones químicas del suelo; por lo que manifiestan cambios de composición y abundancia en una corta escala de tiempo (Chocobar, 2010). También los organismos epigeos con función detritívora, representados fundamentalmente por los diplópodos (milpiés), isópodos (cochinillas), algunos coleópteros (escarabajos) y gastrópodos (caracoles), pueden ser utilizados para indicar el estado de perturbación en el medio edáfico. Ellos viven y se alimentan en la superficie del suelo, con lo que ayudan en el fraccionamiento de la hojarasca y, por ende, en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica. Esta comunidad detritívora, una de las más expuestas en dicha superficie, es muy sensible a los cambios bruscos de humedad y temperatura, por lo que tienden a desaparecer ante estas condiciones de estrés. Tal situación puede estar ocasionada por la menor cobertura vegetal y entrada de residuos, así como por la mayor exposición a la radiación solar (Zerbino *et al.* 2008). Principalmente la humedad puede influir en funciones vitales de estos organismos, tales como el intercambio gaseoso, la reproducción y la alimentación. Los artrópodos epigeos con función detritívora son más abundantes y diversos en ambientes con una incorporación continua y variada de hojarasca, bajas temperaturas y alta humedad en el suelo. Muchos otros organismos de la macrofauna son importantes en la transformación de las propiedades del suelo, entre ellos: las lombrices de tierra (*Annelida: Oligochaeta*), las termitas (*Insecta: Isoptera*) y las hormigas (*Insecta: Hymenoptera: Formicidae*), que actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua y la humificación y mineralización de la materia orgánica. Otra parte de los macroinvertebrados intervienen en la trituración de los restos vegetales (e.g. *Coleoptera, Diplopoda, Isopoda, Gastropoda*) y algunos funcionan como depredadores de animales vivos de la macrofauna y la mesofauna edáfica (e.g. *Araneae, Chilopoda*) (Cabrera *et al.* 2011).

3.2. Aspectos considerados para ser organismos bioindicadores

Pearson (1994) resume en siete puntos los principales criterios biológicos y logísticos para seleccionar indicadores eficientes:

1. Taxonomía bien conocida y estable que permita que las poblaciones sean bien definidas.
2. Historia de vida y biología bien conocidas.
3. Fácil observación y manipulación en el campo.
4. Amplio rango geográfico y alta diversidad taxonómica y ecológica.
5. Especialización dentro de un hábitat restringido y sensibilidad a cambios en el hábitat.
6. Evidencia de que los patrones que siga el taxón indicador se reflejen en otros táxones y que la respuesta a la perturbación sea predecible, rápida, analizable y lineal.

7. Que los táxones escogidos puedan tener importancia económica para facilitar la realización y financiamiento de proyectos.

4. HORMIGAS, IMPORTANCIA COMO BIOINDICADORES

Las hormigas son importantes en ecosistemas naturales y alterados (Majer, 1983; Brown, 1989), y cumplen una variedad de funciones ecológicas en los ecosistemas, debido a que utilizan diversos estratos de nidificación, tienen un amplio espectro de alimentación y se asocian con numerosas especies de plantas y animales (Buckley, 1982; Beattie, 1985; Davidson & Mckey, 1993)

Las principales características que presentan las hormigas como posibles indicadores, de diversidad biológica y de cambios ambientales en el ecosistema son:

- Presentan alta diversidad, abundan en todos los hábitats terrestres.
- Son fáciles de capturar y de monitorear; están estrechamente relacionadas con otros organismos, principalmente con la vegetación, por comida o resguardo (Alonso, 2000).
- Alta fidelidad ecológica
- Son funcionalmente importantes en los ecosistemas
- Su respuesta a las perturbaciones es predecible, rápida, analizable y generalmente lineal
- Existe un buen conocimiento de su taxonomía
- Su identificación es relativamente fácil (Brown, 1989)

Tienen una relación directa con plantas vasculares, de tal forma que al variar la estructura de la vegetación también cambiará la composición de especies de hormigas o su abundancia. Por lo tanto, se les puede utilizar como indicadores por ser muy importantes en los ecosistemas, porque actúan en muchos niveles tróficos, son predadoras y presas, detritivoras, mutualistas, forrajeras, etc (Alonso, 2000).

Por estas razones, las hormigas han sido utilizadas en diferentes estudios como insectos indicadores de perturbación y con fines de manejo conservacionista (Kremen, 1994; Read, 1996), de rehabilitación o estados sucesionales (Majer, 1983; López *et al.* 1998) y como indicadores de riqueza en sistemas agroforestales (Perfecto, 1991; Power, 1996). Un indicador biológico sobre el cambio de uso del suelo sirve para mostrar la presión que este proceso ejerce sobre algunos de los principales ecosistemas terrestres nacionales (INEGI, 2013).

4.1. Grupos funcionales

Andersen (2000), agrupa a las hormigas que responden al estrés y disturbios en distintos ambientes de Australia y América, en siete grupos funcionales representativos.

1. **Dominantes Dolichoderinae (DD)**. Son especies dominantes en ambientes con bajos niveles de estrés y perturbación. Son comunes en ambientes cálidos y abiertos. Géneros con

estas características, en América, se incluyen a: *Forelius*, *Linepithema*, *Liometopum* y los géneros arborícolas *Azteca* y *Dolichoderus*.

2. Subordinadas Camponotini (C). Son las especies del género *Camponotus*, son muy diversas tanto en abundancia y riqueza de comunidades. Por lo general son dominadas por las Dolichoderinae.

3. Especialistas Climáticas (EC). Este grupo se subdivide en, especialistas de clima cálido (ECC) que se las encuentra en zonas áridas, se incluye dentro de este grupo a *Pogonomyrmex*, *Solenopsis* y *Myrmecosistus*. Especialistas de climas tropicales húmedos, dentro de este grupo se incluye a varias taxas. Especialistas de climas fríos aquí se incluye a *Lasius* y *Stenamma*.

4. Oportunistas (O). Estas hormigas no son muy competitivas, dominan en ambientes muy estresados o perturbados limitando la existencia de otras especies. Se mencionan a *Dorymyrmex*, *Formica*, *Myrmica* y *Paratrechina*

5. Especies Crípticas (EC). Son especies pequeñas y muy abundantes en los bosques, se las encuentra en el suelo, entre la hojarasca y raíces. Pertenecen a las familias Myrmicinae y Ponerinae.

6. Generalistas Myrmicinae (GM). Son especies abundantes y comunes en diferentes regiones del mundo, como *Crematogaster*, *Monomorium* y *Pheidole*.

7. Especialistas Predatoras (EP). Este grupo está compuesto por especies predatoras de otros artrópodos. Cazán en forma solitaria como *Pachycondyla* o en grupos como *Leptogenys*.

5. CAMBIO DE USO DE SUELO Y LAS HORMIGAS

El desarrollo de las sociedades y su demanda de bienes y servicios han transformado o degradado grandes extensiones de ecosistemas naturales. Actualmente se reconoce que las principales fuerzas que promueven el cambio de uso del suelo son la expansión de la frontera agropecuaria y urbana y el crecimiento la infraestructura, este último por la construcción de carreteras, redes eléctricas y represas, básicamente. Como resultado, con la reducción de la superficie de vegetación natural se afectan la biodiversidad y los servicios ambientales, los recursos forestales y se aumenta la superficie con problemas de erosión y con pérdida de productividad del suelo, entre otras consecuencias. (INEGI, 2013).

Tal como se ha mencionado, las hormigas son un grupo que cumple con las características para ser bioindicador. Asimismo, su respuesta ante los disturbios ambientales como el cambio en el uso del suelo es evidente. Por ejemplo, a diferencia de otros invertebrados cuya respuesta ante un disturbio como el cambio en el uso de suelo conlleva a su eliminación del hábitat, en el caso de las hormigas se dan cambios en la composición de la comunidad de hormigas e interacciones interespecíficas, así como en términos de pérdida de diversidad de especies y variación en la provisión de sistemas ecosistémicos (Bestelmeyer & Wiens, 1996). Estas particularidades, han hecho que las hormigas sean

utilizadas en varios proyectos que implican el manejo de los ecosistemas, rehabilitación de la tierra y monitoreo del grado de degradación del suelo, así como investigar el estatus de conservación de tierras sometidas a cambio en el uso del suelo (Majer, 1983). Por ejemplo, han sido utilizadas exitosamente como bioindicadores de rehabilitación de minas en el Noroeste de Australia (Andersen *et al.* 2003) y en la rehabilitación de tierras cubiertas por ceniza producida por estaciones eléctricas de carbón en Sudáfrica (Van Hamburg *et al.* 2004). Asimismo, han sido utilizadas para indicar la contaminación por pesticidas en áreas algodoneras en Australia (Weir, 1978).

Por todo lo mencionado, resulta evidente que las hormigas proveen una importante indicación del estado biótico y abiótico de un ecosistema, pero también revelan los impactos que los cambios ambientales pueden tener en un ecosistema.

6. CONCLUSIÓN

El amplio estudio de las hormigas ha sido de gran aportación para el conocimiento de su función ecosistémica, resaltándolas así como importantes indicadoras de los diferentes tipos de perturbación. Los cambios en la composición de especies de hormigas y sus interacciones interespecíficas ofrecen al hombre una de las más predecibles y eficientes respuestas al cambio en el uso del suelo. Por todo ello, es importante que adecuados programas de monitoreo ambiental y de rehabilitación de ecosistemas, consideren el uso de

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Andersen, A. N. 1990. The use of ant communities to evaluate change in Australian terrestrial ecosystems: A review and a recipe. *Proc. Ecol. Soc. Aust.* 16: 347-357.

Andersen A. N. 2000. Global ecology of rainforest Ants, p. 25-34. In Agosti, D; Mayer J; Alonso, L. and Shultz, T. (eds.). *Ants. Standard methods for measuring and monitoring biodiversity.* Smithsonian institution press, London, 1215pp.

Andersen, A. N; Hoffmann, B. & Somes, J. 2003. Ants as indicators of minesite restoration: Community recovery at one of eight rehabilitation sites in central Queensland. *Ecological Management and Restoration* 4: 12-19.

Arcila, A & F. Lozano-Zambrano. 2003. Hormigas como herramienta para la bioindicación y monitoreo. Cap 9, p.159-166. In Fernández, F. (ed.). *Introducción a las Hormigas de la región Neotropical.* Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, Colombia. XXVI. 398 pp.

Alonso, L. 2000. Ants as Indicators of Diversity, p. 80-88. In Agosti, D; Mayer, J; Alonso L. & Schultz, T. (eds.). *Ants. Standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian institution pres, London, 1215pp.

Bestelmeyer B. & J. Wiens. 1996. The effects if land use on the structure of ground-foraging ant communities in the Argentinean Chaco. *Ecological Applications* 6: 1225-1240.

Brown, K. Jr. 1989. The conservation of neotropical enviroments. Insects as indicators. In Collins, N.M. & Thomas, J. A. eds., *The conservation of insects and their habitats*. 15th Simposium of Royal Entomological Society of London. Academic Press. Hartcourt Brace Jovanovich Pbs. pp. 354-404.

Brown, K. S. 1991. Conservation of neotropical environments: insects as indicators, p. 349-404. In Collins, N. M. & Thomas J. (eds.). *Conservation of insects and their habitats*. Academic, San Diego.

Bolton, B. 2003. Synopsis Ant Clasification of formicidae. *Memoir of the American Entomological Institute*. 71:1-370.

Brusaard, L.; Behan-Plietier, V; Bignell, D; Brown, V; Didden, W; Folgarait, P. C.; Fragoso, Freckman D; Gupta, V.S.R; Hattori, S.T; Hawksworth, D.L; Klopatek, C; Lavelle, P.; Malloch, D; Rusek, J; Söderström, B; Tiedje, J. & R. Virginia. 1997. Biodiversity and Ecosystem functioning in Soil. *Ambio*, 26: 563570.

Camacho, G. 1995. Estudio de la macrofauna edáfica de 3 agroecosistemas en La Mancha, Ver. Tesis Profesional. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. 63 pp

Cabrera, G, Robaina, N. & Ponce de León, D. 2011. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34:331.

Cuezzo, F. 1998. Formicidae, 452-462 p. In. Morrone, J & Coscarón, S. (eds.). *Biodiversidad de artrópodos argentinos*. Ediciones Sur. Buenos Aires. Argentina. 594pp.

Chocobar, E.A. 2010. Edafofauna como indicador de la calidad en un suelo Cumulic Phaozem sometido a diferentes sistemas de manejo en un experimento de larga duración. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Edo. de México. 63 p.

Delabie, J.H.C. & Fowler, H.G. 1990. Cryptic species assemblages in tropical and temperate latitudes. Pp. 695-696. In Veeresh, G.K.; Mallik, B; & Viraktamath, C.A. (eds.). *Social Insects and the Environment*. Proceedings of the 11th International Congress of IUSI. Bangalore, India. Oxford & IBH Publishing Co. PVT. LTD. New Delhi, India. 765 pp.

Díaz, J. A.; Molano, P. C. E; Gaviria, J. C. 2009. Diversidad genérica de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en ambientes de bosque seco de los montes de María, Sucre, Colombia», nota corta, *Rev. Colombiana Cienc. Anim.* 1 (2): 279-285.

Fernández, F & Palacio, E. E. 2014. Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical, Edition: 1, capítulo: 49, editorial: Universidad Nacional de Colombia & Socolen, pp.521-538.

Fernández, F.; Sharkey. M. J. 2006. Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical, Sociedad Colombiana de Entomología, Colombia.

Halfpiter, G.; Moreno, C. L.; Pineda, E. O. 2001. Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera. En: Manuales & Tesis., 2:1-77.

Holloway, J. D. & Stork, N. E. 1991. The dimensions of biodiversity: the use of invertebrates as indicators of human impact, p. 37-62. In Hawksworth D. L. (ed.). The biodiversity of microorganisms and invertebrates: its role in sustainable agriculture. Cab International, Wallingford, Inglaterra.

INEGI. 2013. Carta de uso de suelo y vegetación serie V (2011), escala 1: 250 000. México

Klots, A. & Klots, E. 1961. Los Insectos. Ed. Seix barral, S. A. Barcelona. 329pp.

Kremen, C. R.; T. Erwin; D. Murphy; Noss, R. & Sanjavan, M. 1993. Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning. *Conserv. Biol.* 7: 796-808.

Kremer, C. 1994. Biological inventory using target taxa: a case study of the butterflies of Madagascar. *Ecol Appl.* 4(3): 407-422.

Kaspari, M & Majer, J. 2000. Using ants to monitor environmental change, p. 89-98. In D. Agosti, Mayer, J. ; Alonso L; & Schultz, T. (eds.). *Ants. Standard methods for measuring and monitoring biodiversity.* Smithsonian institution pres, London, 1215pp.

Landres, P; J. Verner & Thomas, J.1988. Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conserv. Biol.* 2: 316-328.

Lavelle, P. & B. Kohlmann. 1984. Etude quantitative de la macrofaune du sol dans une foret tropicale humide du Mexique (Bonampak, Chiapas). *Pedobiologia*, 27: 377-393.

Lobry de Bruyn, L. A. & Conacher, A. J. 1990. The role of termites and ants in soil modification: a review. *Austr. Jour. Soil Res.*, 28: 55-93.

López, D.; Montealegre, F.; Rocha, R.; Mosquera, C. & González, P. 1998. Análisis de diversidad y composición de hormigas en el área de concesión forestal de Bajo Calima, Buenaventura. p. 19. En *Resúmenes XXV Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología.* Cali, Colombia.

Majer, J. 1983. Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. *Environm. Manage.* 7: 375-383

Mcgeoch, M. A. 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. En: *Biological Reviews.*, 73:181- 201. Pearson, D.L. 1994. Selecting Indicator Taxa for the quantitative assessment of Biodiversity. En: *Philosophical Transaction of The Royal Society of London, Series B : Biological Sciences.*, 345 :75 -79.

Perfecto, I. 1991. Dynamics of *Solenopsis geminata* in a tropical fallow field after ploughing. *Oikos*, 62: 139-144.

Power, A. 1996. Arthropod diversity in Forest Patches and Agroecosystems of Tropical Landscapes. p 91-110. In Schelias, J. & Greenberg, R. eds., *Forest Patches in Tropical Landscapes*. Islands Press, Washington.

Read, J. 1996. Use of ants to monitor environmental impacts of salt spray from a mine in arid Australia. *Biodiversity and Conservation*. 5: 1533-1543.

Rios-Casanova, L; Valiente-Banuet, A. & Rico-Gray, V.2004. las hormigas del valle de Tehuacan. (Hymenoptera: Formicidae): una comparación con otras zonas áridas de México. *Acta zoológica Mexicana* (n.s) 20(1): 37-54.

Samways, M. J. 1993. Insects in biodiversity conservation: some perspectives and directives. *Biodiv. Conserv.* 2: 258-282.

Semarnat. 2005. Indicadores básicos del desempeño ambiental de México.

http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/00_conjunto/guia.html

Van Hamburg, H., Andersen, A.N; Meyer, W.J. & Robertson, H.G. (2004). Ant community development on rehabilitated ash dams in the South African Highveld. *Restoration Ecology* 12: 552-558

Villareal, H; Álvarez, M; Córdoba, F; Fagua, G; Gast, F; Mendoza, H; Ospina, M.; Umaña M. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Colombia.

Weir, J.S. 1978. The ant *Iridomyrmex* as a biological indicator of pesticide contamination. Report for N.S.W. State Pollution Control Commission, New South Wales, Australia.

Zerbino, M.S; Altier, N; Morón, A. & Rodríguez, C. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia*. 12:44. 2008