



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**MACROINVERTEBRADOS ASOCIADOS AL
PROCESO DE DIGESTIÓN DE LA BORRA DE
CAFÉ CON RESIDUOS DE ALIMENTO EN
PACAS BIODIGESTORAS**

Autor

Laura Carolina Quiceno Botero

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2021



Macroinvertebrados asociados al proceso de digestión de la borra de café con residuos de
alimento en pacas biodigestoras

Laura Carolina Quiceno Botero

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Ambiental

Asesores (a):

María Carolina Vélez Naranjo, Bióloga

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021

Resumen

Las pacas biodigestoras son sistemas vivos utilizados para degradar materia orgánica y transformarla en abono. En este tipo de procesos hay presencia de diferentes comunidades de macroinvertebrados desarrollando diferentes roles ecológicos. La Universidad de Antioquia busca utilizar un sistema de pacas para descomponer un residuo insoluble como lo es la borra de café.

En el presente trabajo se busca caracterizar los macroinvertebrados asociados al proceso de descomposición de la borra de café mezclada con residuos de alimento en pacas biodigestoras. Para identificar las diferentes comunidades de meso-fauna presente se diseñó un modelo experimental, se ejecutó el montaje, se recolectaron las muestras, mediante embudos Berlese, se limpiaron y se separaron los individuos para luego realizar la respectiva clasificación taxonómica de los diferentes morfotipos encontrados.

En el proceso se encontraron los filos, Arthropoda y Annelida. Los artrópodos son los más abundantes contando con diez órdenes en la paca tratamiento (con borra de café), con un total de 68 morfotipos y 19 familias. Para la paca control (sin borra de café) se encontraron 11 órdenes, con un total de 54 morfotipos y 18 familias.

Las comunidades de invertebrados tienen relaciones entre sí y con el material orgánico contenido en las pacas, sin embargo, algunos de ellos fueron encontrados en el sistema de manera eventual, ya sea porque la paca le ofreció un ambiente adecuado para encontrar alimento o depositar sus larvas.

Se evidenciaron algunos taxones representativos del grado de descomposición de la materia orgánica, entre ellos están las familias Hypogastruridae y Staphylinidae además de el filo Annelida que por requerir condiciones específicas de temperatura para desarrollarse y al ser organismos que reciclan residuos, dan cuenta de la transformación que se tiene del material con el paso del tiempo.

Palabras clave: Paca biodigestora, residuos orgánicos, taxón, morfotipo.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	5
2. Objetivos.....	6
2.1. Objetivo general.....	6
2.2. Objetivos específicos.....	6
3. Marco teórico.....	6
3.1. Los residuos sólidos.....	6
3.2. Las pacas biodigestoras.....	6
3.3. Comunidades de macroinvertebrados.....	7
4. Metodología.....	11
5. Resultados y análisis.....	14
5.1. Paca tratamiento.....	14
5.1.1. Hallazgos significativos.....	20
5.1.2. Collembola.....	20
5.1.3. Coleoptera.....	21
5.1.4. Diptera.....	22
5.1.5. Hemiptera.....	23
5.1.6. Psocoptera.....	24
5.1.7. Hymenoptera.....	25
5.1.8. Dermaptera.....	25
5.1.9. Acari.....	26
5.1.10. Araneae.....	26
5.1.11. Crassiditellata.....	27
5.2. Paca control.....	27
5.2.1. Collembola.....	32
5.2.2. Coleoptera.....	32
5.2.3. Diptera.....	33
5.2.4. Hemiptera.....	33
5.2.5. Psocoptera.....	33
5.2.6. Hymenoptera.....	33
5.2.7. Dictyoptera (Blattodea).....	34
5.2.8. Acari.....	35
5.2.9. Araneae.....	35

5.2.10. Crassicitellata.....	35
5.2.11. Isopoda.....	35
6. Conclusiones.....	36
7. Referencias.....	38

1. Introducción

Los procesos de descomposición se caracterizan por la presencia de diferentes comunidades biológicas que pueden acelerar la degradación o ser el núcleo de dispersión de muchas enfermedades. Esto último requiere una atención especial, pues a la generación de residuos orgánicos están vinculadas fuertes problemáticas sanitarias por la atracción de patógenos que se despliegan cuando se hace un manejo inadecuado del material (Ardila, Cano, Silva & López, 2015).

La caficultura en Colombia es una actividad de alta importancia económica y cultural. El país es productor mundial de café arábigo suave y se estima que sólo el 5% de la biomasa requerida durante el proceso se utiliza para la producción de la bebida (Cenicafé, 2010), por lo cual, la degradación de los residuos generados allí se convierte en un tema de preocupación y al cual se le debe buscar un manejo adecuado. Además, se debe tener en cuenta que la borra del café es un residuo post-consumo y se trata de la fracción insoluble del grano tostado, la cual constituye cerca del 10% del peso del fruto fresco (Cenicafé, 2010). En la búsqueda de soluciones, existen avances que logran incorporar la borra de café como materia prima para otros procesos (Agudelo, 2002), sin embargo, la problemática de la gestión de este y otros residuos sólidos es alarmante.

Como respuesta a la problemática la Universidad de Antioquia, por medio del proyecto GIRO Sostenible UdeA, se ha preocupado por la gestión adecuada de dicho material y por eso acude a biotecnologías como las pacas biodigestoras que permiten cerrar el ciclo incorporando el material a los suelos.

La paca biodigestora es un microsistema vivo por medio del cual se puede dar un manejo adecuado a la materia orgánica (Ossa, 2016a), gracias a que en la etapa termófila se presentan temperaturas por encima de los 45°C, lo cual promueve la eliminación de vectores, además, contribuye a la degradación de carbohidratos disponibles estabilizando el material orgánico (Ardila et al., 2015). Por tal motivo, se seleccionan como una buena alternativa para descomponer un material de difícil degradación como lo es la borra del café. Además, los organismos presentes en ellas juegan papeles muy importantes en dicho sistema desempeñando diferentes roles como descomponedores, bioindicadores y depredadores para control de poblaciones.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Caracterizar los macroinvertebrados presentes en el proceso de digestión de la mezcla de borra del café con residuos de alimento en pacas biodigestoras.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la presencia de las familias de invertebrados presentes en las pacas biodigestoras a medida que se avanza en el proceso de descomposición de la materia orgánica.
- Identificar indicadores biológicos del grado de descomposición.
- Definir la función biológica de cada taxón identificado.

3. Marco teórico

3.1. Los residuos sólidos

Los residuos sólidos son todos aquellos “desechos” producidos por las diferentes actividades humanas como la alimentación, el vestuario, el cuidado personal y cualquier actividad que produzca cualquier tipo de material que requiera una disposición después de su uso. A pesar de que los residuos sólidos hacen parte de nuestra cotidianidad, las personas suelen ignorar lo que sucede con todo aquello que depositan como “basura” y lo más preocupante es que la gestión de residuos sólidos a nivel global, en general, se ha realizado de manera inadecuada. Las técnicas de reincorporación de materia orgánica a los suelos se suelen practicar por pequeños grupos sociales conscientes de las consecuencias que conlleva el mal manejo de los residuos orgánicos. Por ejemplo, en Colombia es común el uso de rellenos sanitarios donde se realiza una acumulación de residuos sólidos sin realizar una separación previa (Noguera & Olivero, 2010).

La preocupación por las grandes cantidades de residuos que tienen una mala disposición ha motivado la aplicación de diferentes iniciativas para aprovechar los recursos generados a partir de los residuos sólidos, llevando al desarrollo de múltiples investigaciones que van desde la generación de energía renovable a partir de los gases producidos en los rellenos sanitarios (Andrade, Restrepo & Tibaquirá, 2018), hasta la elaboración de etanol a partir de borra de café (Agudelo, 2002), o la construcción de pacas biodigestoras para la reincorporación de la materia orgánica como abono en los suelos (Ossa, 2016a).

3.2. Las pacas biodigestoras

De acuerdo con lo anterior, las pacas biodigestoras se han desarrollado como una estrategia útil para el manejo de residuos sólidos orgánicos. Funcionan como

microsistemas vivos que permanecen a la intemperie a nivel del suelo donde se da la descomposición de la materia orgánica (Ossa, 2016a). Con ellas se ha buscado llevar a cabo un tratamiento a los residuos sólidos orgánicos por medio de un proceso de digestión para los co-sustratos, borra de café y residuos de alimento. Se ha hecho evidente la presencia de comunidades biológicas que contribuyen a los procesos bioquímicos propios de la descomposición (Ossa, 2016a). Tras dicho proceso, el material resultante de la co-digestión se reincorpora contribuyendo con el mejoramiento de la calidad del suelo por medio de la introducción de nutrientes (Ossa, 2016b).

En sistemas como las pacas biodigestoras se pueden encontrar diversas comunidades de macroinvertebrados desempeñando múltiples roles (Morales & Wolff, 2010). Allí se destacan dos filos: Arthropoda y Annelida.

3.3. Comunidades de macroinvertebrados

Los artrópodos son el grupo más diverso de macroinvertebrados sobre el planeta. Muchos grupos sirven como indicadores ya que tienen presencia en casi todos los ambientes y dan cuenta de la riqueza de especies presentes (Ribera & Foster, 1997). Algunos tienen incidencia en la salud humana de manera negativa, ya que son vectores de muchas enfermedades, pueden contaminar los alimentos o su presencia puede ser molesta (Fernández, 1997). Es común que se encuentren en los procesos de degradación de la materia orgánica y en este caso, las clases: Insecta (Morales & Peláez, 2010), Entognatha y Arachnida (Bazán et al., 2012) son las más representativas. De las anteriormente mencionadas, la clase Insecta es la que exhibe la mayor diversidad. Se diferencian por tener el cuerpo dividido en tres segmentos, cabeza, tórax y abdomen (Step, 1953), presentando en su estado adulto tres pares de patas y siendo comunes en ambientes de degradación los órdenes Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Dermaptera, Psocoptera, Hemiptera (Bazán, Herrera, López, Guzmán & Nava, 2012) y Blattodea (Arango & Agudelo, 2004). Es por esta razón que la clase Insecta representa en gran cantidad la mesofauna presente en los procesos de descomposición.

Dentro de la clase, los escarabajos (Coleoptera) son el orden más diverso (McGavin, 2002), con el mayor éxito biológico (Klots, 1960) y representan cerca del 40% de los insectos conocidos (McGavin, 2002). Sufren una metamorfosis completa, exhibiendo estados juveniles como larvas y pupas que luego permiten la emergencia del adulto. Son bastante diversos en tamaño, desde menos de un milímetro hasta los 125 milímetros. Se pueden distinguir fácilmente por la estructura de sus cuatro alas, siendo las dos anteriores gruesas (élitros) (Triplehorn & Johnson, 2005) debido a que son ricas en quitina y las usan como protección (Step, 1953), conformando una armadura que cubre las alas posteriores membranosas. Tienen mandíbulas bien desarrolladas (Triplehorn & Johnson, 2005) que son masticadoras y con las cuales descomponen la materia orgánica proveniente de origen tanto animal, como vegetal,

lo cual contribuye al control de poblaciones que pueden ser plagas (Step, 1953), mejora la calidad del abono (Arango & Vásquez, 2004) y facilita la entrada de otros organismos a la paca debido a la construcción de túneles en la misma (Ardila et al., 2015).

Por otro lado, los dípteros reciben su nombre debido a que cuentan solo con el par de alas anteriores. Su longitud va desde los 0,5 a los 60 milímetros, sus las posteriores que se reducen a estructuras pequeñas conocidas como halterios y las usan para mantener su equilibrio. Tienen mandíbulas de tipo succionador que pueden usar para penetrar tejidos de otros organismos o para absorber líquidos o lixiviados presentes en su entorno. Sufren una metamorfosis completa, presentando larvas de tipo vermiformes (Triplehorn & Johnson, 2005). Son uno de los grupos más importantes en los procesos de descomposición de diferentes tipos de sustratos, ya que las larvas de muchas especies se alimentan de manera exclusiva de desechos (Morales & Peláez, 2010) ayudando con el reciclaje de nutrientes (McGavin, 2002) por lo que algunos taxones de este orden son vectores mecánicos de diferentes enfermedades, especialmente porque se ubican donde hay secreciones o lixiviados de procesos de pudrición y allí pueden acarrear patógenos en sus patas y piezas bucales (Fernández, 1997). Por otro lado, su presencia en viviendas humanas los hace objeto de importancia de salud pública (Morales & Peláez, 2010) ya que están involucrados en la transmisión de enfermedades como la malaria, fiebre amarilla, dengue y disentería (Triplehorn & Johnson, 2005).

Los himenópteros constituyen un grupo bastante importante ya que, si bien no son precisamente descomponedores, suelen encontrarse asociados a procesos de degradación de materia orgánica ejerciendo otros roles ecológicos. Son insectos de 0,25 a 70 milímetros de longitud, sufren una metamorfosis completa (McGavin, 2002) en la que sus larvas suelen ser blancas con una cabeza bien desarrollada (Klots, 1960). Muchos de ellos se destacan por la formación de organizaciones sociales (Triplehorn & Johnson, 2005) aunque también hay especies solitarias (McGavin, 2002). Los grupos más conocidos son las abejas, las avispas y las hormigas. Tienen alto valor e importancia biológica ya que algunas especies de este grupo son depredadores de otros insectos o plagas, muchos son importantes como polinizadores (Triplehorn & Johnson, 2005) y algunos ayudan con la estructura del suelo (Klots, 1960). En los procesos de descomposición el orden se ve representado por la familia Formicidae (hormigas), que exhibe diferentes comportamientos ecológicos, algunas se alimentan de compuestos vegetales, procesan toxinas y savia, y otras que ayudan con el control de poblaciones al depredar otro tipo de artrópodos (Arango & Piedrahita, 2004), remover la tierra y reciclar nutrientes. En el caso de las arrieras, son insectos cultivadores de hongos con los cuales se alimentan (Step, 1953). También se destaca la familia Vespidae (avispa) al contribuir con el control de

poblaciones en el sistema, ya que en sus nidos colectan larvas de coleópteros, dípteros u orugas para el alimento de sus crías (McGavin, 2002).

En menor cantidad, pero igualmente importantes, encontramos a las tijeretas (Dermaptera). Son conocidas por poseer un par de pinzas en la parte trasera de su cuerpo. Su tamaño puede variar desde menos de siete hasta 40 milímetros (Klots, 1960) y poseen mandíbulas que les permiten cortar hojas y tallos de plantas, además depredar otros artrópodos. Las pinzas al final de su abdomen les sirven como mecanismo de protección, de ayuda para plegar sus alas bajo sus cortos élitros (Step, 1953) y a los machos les sirven durante la cópula. En general, tienen una dieta omnívora y/o saprófaga.

También se destaca el orden de los psocópteros, que son insectos de menos de 10 milímetros de longitud (McGavin, 2002), tienen de dos a tres segmentos en su cuerpo y sufren una metamorfosis simple o incompleta (Klots, 1960). Algunos cuentan con alas, pero también los hay sin ellas (generalmente los que habitan hogares o construcciones). Suelen encontrarse en las cortezas, rocas u hojas en descomposición (Triplehorn & Johnson, 2005). Con sus bocas de tipo masticador (Klots, 1960) se alimentan de algas, líquenes, mohos, cereales, polen o fragmentos de insectos muertos (Triplehorn & Johnson, 2005) y con esto contribuyen a degradar la materia orgánica, sin embargo, se ven amenazados por las colonias de hormigas, arácnidos y aves (McGavin, 2002). Tienen importancia sanitaria ya que son indicadores de suciedad en las viviendas humanas y suelen habitar ciertos productos almacenados en las cocinas (McGavin, 2002).

Por otro lado, los hemípteros comprenden un amplio grupo de insectos con marcadas diferencias en la estructura de su cuerpo y nicho (Triplehorn & Johnson, 2005). Algunos de ellos son conocidos como chinches, pulgones y cigarras. Pueden tener longitudes entre 1 y 100 milímetros (McGavin, 2002) y su única característica en común es la utilidad de sus partes bucales para perforar y succionar (Triplehorn & Johnson, 2005). Sufren una metamorfosis incompleta (McGavin, 2002) y muchas de sus especies se alimentan de savia, pero otros son depredadores de otros insectos y existen especies que inclusive succionan sangre. Tienen alta importancia sanitaria, económica y biológica ya que hay especies que transmiten enfermedades entre plantas y otras son vectores de enfermedades que pueden afectar a los humanos, algunas son plagas en cultivos y otras proveen materiales para colorantes y esmaltado (Triplehorn & Johnson, 2005).

Por último, el suborden Blattodea (Dyctioptera) comprende a las conocidas cucarachas, cuyo tamaño oscila entre los 3 y 100 milímetros de longitud y presentan una metamorfosis incompleta (McGavin, 2002). El 1% de las especies tiene

importancia sanitaria (McGavin, 2002) ya que son plagas domésticas y pueden contaminar los alimentos (Triplehorn & Johnson, 2005) debido a su afinidad con las condiciones donde hay poca higiene y a su atracción por los comestibles de las viviendas humanas, por lo que son vectores mecánicos de enfermedades como la gastroenteritis y la diarrea (McGavin, 2002). Es un grupo de insectos omnívoros y saprófagos (McGavin, 2002) facilitan el proceso de transformación de los desechos orgánicos para otros organismos al triturar el material vegetal, sirven como indicadores biológicos de la cantidad de humedad en un sistema, se relacionan positivamente con ésta, pero también dan cuenta de la cantidad de recursos alimenticios presentes (Arango & Agudelo, 2004). Pueden vivir en asociación con otros invertebrados o con fauna de mayor tamaño (McGavin, 2002). Además, se consideran de gran importancia por contribuir a la biodiversidad del edafón por medio de la transformación y maduración de la materia orgánica (Ardila et al., 2015).

A parte, se encuentra la clase Entognatha que comprende los órdenes Protura, Collembola y Diplura. Los proturos son hexápodos de 0,6 a 1,5 milímetros de largo. Habitan el humus y suelos húmedos. Se alimentan de materia orgánica en descomposición, esporas de hongos y raspan las partículas de comida (Triplehorn & Johnson, 2005). Los colémbolos tienen tamaños entre 0,25 y 6 milímetros (Triplehorn & Johnson, 2005). Se alimentan de materia orgánica en descomposición (Klots, 1960), usan sus mandíbulas para triturar, controlan poblaciones de nemátodos y de microorganismos (Bazán et al., 2012) y contribuyen a la estructura del suelo (Arango & Macías, 2004). Los dipluros conocidos como dos colas, son hexápodos de menos de 7 milímetros de longitud. Habitan suelos húmedos, madera en descomposición o puede encontrarse bajo las rocas (Triplehorn & Johnson, 2005).

Así mismo, los arácnidos juegan un papel importante en este tipo de sistema. Aunque es normal pensar que la clase Arachnida está representada únicamente por las arañas, existen otros 9 órdenes, con comportamientos muy diferentes, por ejemplo, los ácaros y escorpiones. Como sucede con ciertos macroinvertebrados, algunos arácnidos sirven como indicadores ya que se adaptan solo a ciertas condiciones ambientales de temperatura, humedad y vegetación (Beccaloni, 2009). El orden Araneae es el más biodiverso de la clase y se caracteriza por la habilidad de inyectar veneno a sus presas. Son muy importantes a nivel ecosistémico ya que sirven como control de muchos vectores (Beccaloni, 2009) mientras que el orden Acari (ácaros y garrapatas) puede encontrarse en suelos, plantas, ecosistemas acuáticos, materia orgánica en descomposición e incluso pueden vivir sobre y dentro de algunos seres vivos (Beccaloni, 2009). Al alimentarse de otros organismos pueden cumplir funciones de control poblacional de ciertos artrópodos y nemátodos (Bazán et al., 2012). Tienen alta importancia biológica y económica ya que pueden parasitar animales tanto vertebrados como invertebrados y plantas (Beccaloni, 2009).

Si bien los artrópodos son protagonistas en el reciclaje de materia orgánica (Bazán, Herrera, López, Guzmán & Nava, 2012), el filo Annelida ha sido ampliamente utilizado para el desarrollo de biotecnologías de debido a su gran capacidad para la conversión de los residuos y lograr un mejor abono (Adi & Noor, 2009). Los anélidos, que comprenden la mayor cantidad de invertebrados vermiformes (Barnes, 1968), y dentro de los cuales podemos destacar a las lombrices segmentadas y sanguijuelas, hace un gran aporte con la aireación y estructura del suelo, además, son buenos fragmentadores de la materia orgánica (Adi & Noor, 2009).

En atención a todo lo anterior, es posible evidenciar cómo en los procesos de descomposición hay múltiples actores que contribuyen a que el proceso se desarrolle de la manera más adecuada para lograr una degradación completa de los residuos sólidos que se refleja en la obtención de un abono de buena calidad y un adecuado reciclaje de nutrientes en el suelo (Ossa, 2016b).

4. Metodología

El estudio se realizó en Ciudad Universitaria de la Universidad de Antioquia, en el municipio de Medellín (Antioquia, Colombia). Este lugar se encuentra a 1.479msnm con una temperatura promedio de 22°C y corresponde a la zona de vida bosque húmedo premontano (bh-PM), de acuerdo con la clasificación de las zonas de vida ecológicas de Holdridge (Holdridge, 1967).

Para la caracterización de los macroinvertebrados asociados a las pacas biodigestoras, se llevó a cabo un procedimiento que consta de seis etapas que se pueden observar en la Figura 1. Se inició con el diseño experimental en el cual se definió la cantidad de residuos a utilizar, tamaño, ubicación y cantidad de pacas biodigestoras a construir, frecuencia de mediciones y definición de mecanismos de recolección de los invertebrados.

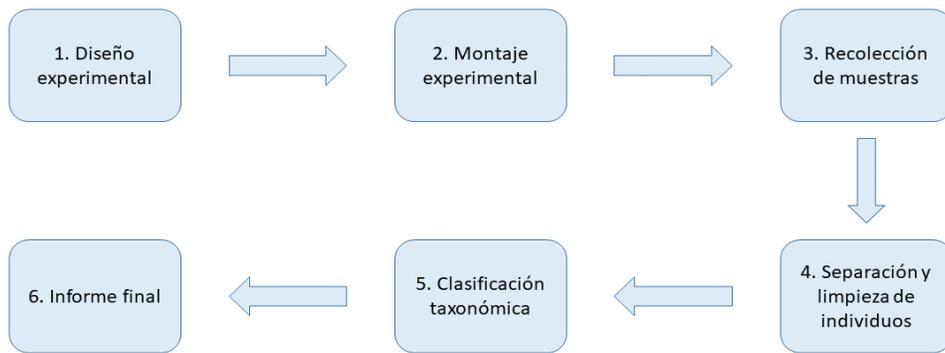


Figura 1. Esquema metodológico de la investigación

Durante el montaje experimental se construyeron 32 pacas biodigestoras cúbicas con unas medidas en centímetros de 50x50x50 (Figura 2). Ocho de ellas se utilizaron como controles y estuvieron compuestas al 100% con residuos de cocina recubiertos con hojarasca. Las otras 24 fueron muestras de tratamiento y se construyeron con una proporción de 50% de borra de café y 50% de residuos de cocina, igualmente recubiertas con hojarasca. Esto garantizó que se pudiera realizar desarme de cuatro pacas cada quince días por un período de cuatro meses, teniendo en cuenta que cada desarme se hizo para un control y tres réplicas de tratamiento.



Figura 2. Sistema de pacas biodigestoras objeto de investigación.

El material de cocina provino de residuos generados al interior de Ciudad Universitaria y separados en la fuente.

Para la toma de muestras de los macroinvertebrados se realizó una extracción cada quince días de forma manual en tres estratos de cada paca (Figura 3) de 500gr del estrato revuelto y homogeneizado.

Los estratos se dividieron según el tipo de material encontrado. La superficie era todo aquel material superficial compuesto de hojarasca o residuos de poda, el centro se tomó como todo el núcleo de la paca biodigestora, compuesto por material de cocina en la paca control y por material de cocina con borra de café en la paca tratamiento. Finalmente, el fondo se tomó como la base de la paca construida con hojarasca o poda.

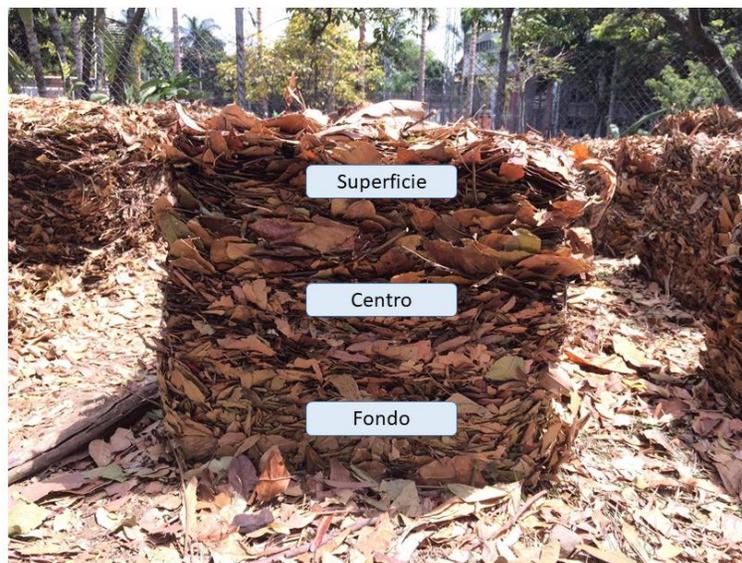


Figura 3. Estratos de extracción de muestras.

Se llevaron las muestras de cada recolección a doce embudos Berlese, los cuales se pueden observar en la Figura 4. En ellos las muestras se sometieron a iluminación, y los macroinvertebrados buscando profundidad para huir de ésta caen en un recipiente con alcohol al 70%. Después de dos días se recogieron las muestras en el alcohol para luego ser sometidas a limpieza y separación según los diferentes morfotipos.



Figura 4. Embudos Berlese.

Las muestras se identificaron taxonómicamente, con la ayuda de un estereoscopio. Con la clave taxonómica de Borror (Triplehorn & Johnson, 2005) se identificaron los distintos órdenes y algunas familias.

A medida que se reconocieron las muestras, se realizó un análisis de los resultados obtenidos en una matriz de ocurrencia (presencia-ausencia), teniendo en cuenta el momento de la degradación en el que se presentaron los diferentes organismos encontrados y determinando su rol ecológico durante el proceso.

5. Resultados y análisis

5.1. Paca tratamiento

Durante las semanas de estudio se logró identificar dos Filos, Arthropoda y Annelida. Los artrópodos fueron los más abundantes en todo el proceso, estando presentes las clases Hexapoda y Arachnida. A su vez, los hexápodos presentes se identificaron dentro de dos subclases, Entognatha e Insecta, siendo esta última la que contiene mayor cantidad de morfotipos presentes. En cuanto al Filo Annelida, se presentó la clase Clitellata, en la cual se encuentran las conocidas lombrices de tierra.

La Tabla 1 muestra la clasificación taxonómica de los diferentes morfotipos y su ubicación espacial en los diferentes estratos, además ilustra con una “x” su presencia en las semanas de estudio. Es importante resaltar que la semana 1 hace referencia a los quince días después de realizado todo el montaje de las pacas biodigestoras.

			Psocoptera	*	027	Superficie	x	x		x	x	x	x		
						Centro			x	x	x	x			
						Fondo	x	x		x		x			
			Hymenoptera	Formicidae	030	superficie	x		x	x	x	x	x	x	
						Centro	x	x	x	x	x		x	x	
						Fondo	x	x		x		x		x	
					*	061	superficie				x	x			
							Centro					x			
							Fondo				x		x		
					*	093	superficie								x
							Centro						x		
							Fondo						x		x
		*	110	superficie								x			
				Centro											
				Fondo											
	Dermaptera	*	085	superficie							x				
				Centro								x			
				Fondo											
	Arachnida		**	Acari	*	013	Superficie	x							
							Centro	x			x	x			
							Fondo	x	x			x			
Ixodidae					016	Superficie			x	x	x	x	x	x	
						Centro	x		x	x	x	x	x	x	
						Fondo	x		x		x				
*					043/151	Superficie			x	x	x	x	x	x	
						Centro		x	x	x	x		x	x	
						Fondo			x	x		x			
*					066	superficie									
						Centro					x		x		
						Fondo						x			
*					070	superficie						x		x	
						Centro					x	x			
						Fondo				x		x			
*	087	superficie						x		x					
		Centro					x								
		Fondo				x				x					

		**	Araneae	*	053	superficie			x	x								
						Centro				x								
						Fondo												
								*	088	superficie					x	x	x	
										Centro							x	
										Fondo								
								*	100	superficie							x	
										Centro								
										Fondo				x				
Annelida	Clitellata	Oligochaeta	Crassiclitellata	*	068	superficie				x			x					
						Centro				x	x		x	x				
						Fondo				x								
								*	091	superficie					x	x		
										Centro					x			x
										Fondo				x				

5.1.1. Hallazgos significativos

A continuación, se presentan los hallazgos reveladores del presente estudio.

5.1.2. Collembola

El Orden Collembola pertenece a la subclase Entognatha y se evidenciaron 5 morfotipos en el sistema, de los cuales se identificaron tres familias, Entomobryidae, Hypogastruridae y Neelidae, las cuales se pueden observar en la Figura 5.

Entomobryidae: La familia más presente. Se destaca su existencia permanente en los estratos superficie y centro, lo que indica que durante todo el proceso desempeñaron su labor de contribuir con la descomposición de la materia orgánica.

Hypogastruridae: Hizo presencia a partir de la semana siete, indicando que efectivamente comienza a haber una transformación de los residuos ya que esta familia es habitante usual del suelo (Triplehorn & Johnson, 2005).

Neelidae: tuvo una presencia ocasional aprovechando el material orgánico del sistema.

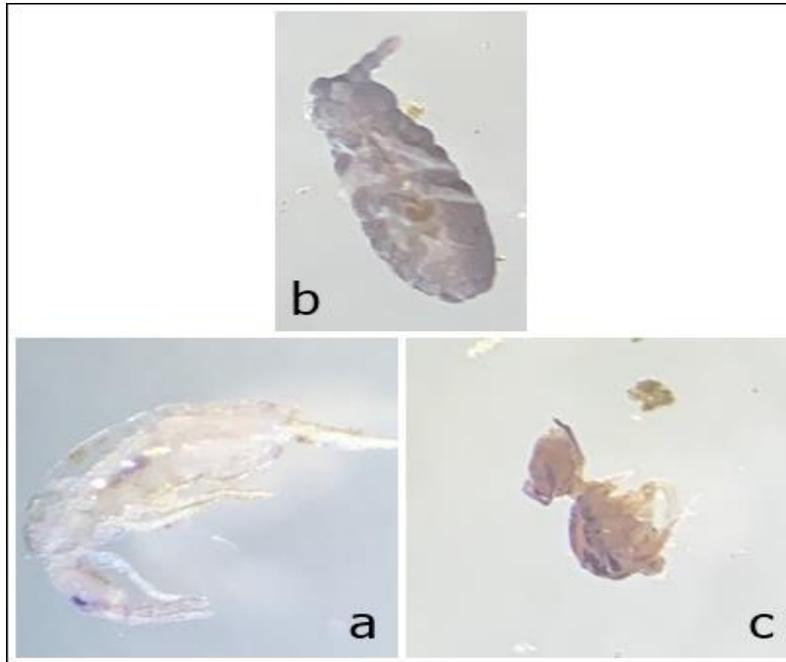


Figura 5. Familias de colémbolos. a) *Entomobryidae*, b) *Hypogastruridae*, c) *Neelidae*

5.1.3. Coleoptera

Este orden fue uno de los más abundantes, pues se encontraron 24 morfotipos entre larvas y adultos. Se identificaron cinco familias, las cuales se pueden observar en la figura 6.



Figura 6. Familias de coleópteros. a) *Curculionidae* (*Scolytinae*), b) *Staphylinidae*, c) *Latridiidae*, d) *Meloidae*, e) *Scarabaeidae* en estado larval.

Curculionidae (Scolytinae): Su presencia en el sistema de pacas biodigestoras puede atribuirse a el material vegetal utilizado para cubrir la borra de café y los residuos de alimento, su presencia no es muy constante en el tiempo, pero contribuyen con la formación de túneles en la hojarasca (Triplehorn & Johnson, 2005).

Staphylinidae: Se encontraron tres morfotipos de la familia, se puede inferir que los individuos colectados encontraron un hábitat agradable ya que además de alimentarse de material en descomposición mantienen una actividad depredadora y habitan el suelo, lo que puede indicar una transformación del material ya que su presencia es más notoria en las últimas semanas (Triplehorn & Johnson, 2005).

Latridiidae: Los individuos se encontraron en las primeras semanas de muestreo. Su presencia está relacionada con el material mohoso producido a partir de los residuos de alimento (Triplehorn & Johnson, 2005).

Meloidae: Se presenta de manera irregular en las primeras semanas de muestreo, su presencia está asociada al material vegetal del sistema (Triplehorn & Johnson, 2005).

Scarabaeidae: Se encontró únicamente en la semana nueve en el fondo, se puede deber a que suele alimentarse de raíces y su hábitat es el suelo, siendo la paca biodigestora una extensión del mismo.

5.1.4. Diptera

El orden Diptera es el segundo más abundante en cuanto a morfotipos, ya que se encontraron 22 de ellos, de los cuales se identificaron seis familias, las cuales se pueden observar en la Figura 7.



Figura 7. Familias de dípteros. a) *Phoridae*, b) *Muscidae* en estado larval, c) *Scatopsidae*, d) *Fanniidae* en estado larval, e) *Drosophilidae*, f) *Stratiomyidae* en estado larval.

Phoridae: Su presencia se da a partir de la semana nueve especialmente en la superficie y centro de la paca. Aunque viven en material vegetal en descomposición, su presencia también está relacionada con los nidos de hormigas ejerciendo un control de población de las mismas (Triplehorn & Johnson, 2005).

Muscidae: Su presencia se da especialmente en estado larval a lo largo de todo el proceso, está presente especialmente en el centro de la paca lo que indica que ayudaron a triturar y descomponer de manera activa todos los residuos orgánicos presentes.

Scatopsidae: Se encontró en estado adulto en su mayor parte en el centro de la paca, lo que indica que la familia descubrió un ambiente adecuado para que sus larvas pudieran alimentarse de la materia en descomposición.

Fanniidae: Se encontró tanto en estado larval como adulto, sin embargo, las larvas contaron con mayor presencia especialmente en el centro, lo que indica que este díptero también aprovechó el material orgánico para alimentarse y contribuir con su transformación.

Drosophilidae: Se conocen como “la mosca pequeña de la fruta”, su presencia está asociada a la fermentación y se alimentan especialmente de las levaduras que crecen en los frutos en descomposición (Triplehorn & Johnson, 2005). Su presencia es ocasional, se da en el primer muestreo y puede estar asociada a que ya había fruta fermentada al momento de construir las pacas.

Stratiomyidae: Se conoce como “la mosca soldado” y la presencia de sus larvas es común en sistemas de descomposición de materia orgánica ya que reciclan el material (Roman, Gennady & Haghi, 2015).

5.1.5. Hemiptera

De este orden se encontraron tres morfotipos, dos de ellos pertenecientes al suborden Heteroptera los cuales se pueden observar en la figura 8.



Figura 8. Hemipteros. a) Suborden Heteroptera, b) Familia Plokiophilidae.

Plokiophilidae: La familia estuvo presente durante todo el proceso, especialmente en la superficie y centro. Su presencia está estrechamente relacionada con los individuos de la clase Arachnida presentes en el sistema, pues logra convivir con aquellos pertenecientes al orden Araneae y se alimentan de aquellos que pertenecen al orden Acari (Rafael et al., 2012).

5.1.6. Psocoptera

De este orden se encontró un morfotipo que estuvo presente durante todo el proceso alrededor de los diferentes estratos y se puede observar en la Figura 9. Su presencia en las pacas se dio durante todo el proceso en los diferentes estratos y puede deberse a que contribuye con la degradación de materia al alimentarse de los mohos presentes en las pacas y de insectos muertos (Triplehorn & Johnson, 2005). Su población se ve amenazada por las hormigas y arañas presentes en el sistema (McGavin, 2002).



Figura 9. Orden Psocoptera.

5.1.7. Hymenoptera

Del orden se encontraron cuatro morfotipos diferentes y se identificó una familia la cual se puede observar en la Figura 10.



Figura 10. Himenópteros. Familia Formicidae.

Formicidae: La presencia de la familia es notoria en todas las etapas y estratos del sistema. Son habitantes comunes de todos los ecosistemas, pero en las pacas biodigestoras contribuyen con la trituración del material vegetal y controlan las poblaciones de otros artrópodos.

5.1.8. Dermaptera

Se encontró un morfotipo del orden el cual se puede observar en la Figura 11 y su presencia en el sistema fue ocasional, registrándose sólo en dos ocasiones en las últimas semanas de muestreo. Los individuos encontrados encontraron un lugar favorable para alimentarse de materia orgánica animal o vegetal.



Figura 11. Orden Dermaptera.

5.1.9. Acari

El orden Acari pertenece a la clase Arachnida, se encontraron seis morfotipos y se identificó una familia la cual se puede observar en la Figura 12.



Figura 12. Familia Ixodidae.

Los ácaros se presentaron durante todo el proceso y toman importancia debido a que pueden encontrar comodidad en las pacas debido a la gran cantidad de material vegetal, materia orgánica en descomposición y presencia de otros artrópodos sobre los cuales ejercen control de poblaciones.

5.1.10. Araneae

La importancia de este orden en las pacas biodigestoras se encuentra en que ejercen control de vectores (Beccaloni, 2009) por medio de la construcción de sus redes, su rol en el sistema es de depredación (Triplehorn & Johnson, 2005). Se encontraron tres morfotipos los cuales se pueden visualizar en la Figura 13.



Figura 13. Orden Araneae.

5.1.11. Crassicitellata

Este orden pertenece al filo Annelida, clase Clitelata y subclase Oligochaeta. Comprende a las conocidas lombrices de tierra y toman importancia ya que son indicadoras de la transformación de la materia orgánica en descomposición a suelo (Adi & Noor, 2009). Su presencia comienza a notarse a partir de la semana siete, donde se comienza a registrar temperaturas bajas. Los morfotipos encontrados se pueden observar en la Figura 14.



Figura 14. Lombrices de tierra. Orden Crassicitellata.

5.2. Paca control

En la Tabla 2 se clasifican los diferentes morfotipos encontrados en la paca control en las diferentes semanas de análisis.

Annelida	Clitellata	Oligochaeta	Crassiclitellata	*	068	superficie																	
						Centro							x										
						Fondo											x		x				
					*	091	superficie																
							Centro																x
							Fondo															x	

5.2.1. Collembola

Se encontraron cuatro morfotipos de este orden y se identificaron tres familias, encontradas en la paca tratamiento.

Entomobryidae: Estuvo presente en todo el proceso contribuyendo con la descomposición de la materia orgánica.

Neelidae: Al igual que en la paca tratamiento, tuvo una presencia ocasional aprovechando el material orgánico del sistema.

Hypogastruridae: Hizo presencia a partir de la semana cinco, lo que puede indicar que la transformación se produce más rápidamente cuando no se cuenta con borra de café.

5.2.2. Coleoptera

Se encontraron 17 morfotipos y se identificaron 5 morfotipos, los cuales se evidenciaron también en la paca tratamiento. Es importante resaltar que se presentaron en bajas cantidades y con poca ocurrencia.

Curculionidae (Scolytinae): Su presencia fue ocasional, evidenciándose solo en la primera semana y en la superficie de la paca.

Staphylinidae: Se encontraron dos morfotipos de esta familia, con una presencia poco constante en cuanto a estrato y tiempo.

Latridiidae: Su presencia es ocasional, lo que podría indicar que hay baja cantidad de material mohoso proveniente de los residuos de alimento.

Meloidae: Se presenta de manera irregular en las primeras semanas de muestreo.

Scarabaeidae: Se encontró en la semana nueve en el centro de la paca y en la semana trece en el fondo, de igual manera se evidencia que la paca es una extensión de su hábitat natural.

5.2.3. Diptera

Se encontraron 17 morfotipos y cinco familias ya identificadas previamente en la paca tratamiento.

Phoridae: Se presenta durante todo el proceso en los diferentes estratos.

Muscidae: Su presencia se da principalmente en estado larval contribuyendo con la descomposición de los residuos, aunque se registraron adultos en las semanas uno y siete.

Scatopsidae: Al igual que en el tratamiento, se identificó en estado adulto, siendo la paca un estado adecuado para depositar sus larvas.

Fanniidae: En este caso se encontró solo en estado larval y únicamente en la semana trece.

Stratiomyidae: Se encontró durante todo el tiempo de estudio, especialmente en el centro de la paca, lo que indica que efectivamente se encontraba ejerciendo labores de reciclaje de todo el material orgánico.

5.2.4. Hemiptera

Se observaron dos morfotipos correspondientes a los hallados en la paca tratamiento

Plokiophilidae: La familia también estuvo presente durante todo el proceso, especialmente en la superficie y centro.

5.2.5. Psocoptera

De este orden se encontró un morfotipo que corresponde al hallado en el tratamiento, pero se presentó a partir de la semana cinco especialmente en la superficie.

5.2.6. Hymenoptera

De este orden se registraron cuatro morfotipos y dos familias, una de ellas corresponde a la descrita en la paca tratamiento y la otra se puede observar en la Figura 15.



Figura 15. Familia Eupelmidae.

Formicidae: Se encuentra a lo largo del tiempo en los diferentes estratos.

Eupelmidae: Esta familia se caracteriza por parasitar a otros organismos de diferentes órdenes, aquellos que habitan el material vegetal en descomposición están en búsqueda de coleópteros que puedan servirles de huéspedes (Triplehorn & Johnson, 2005). Su presencia en el sistema de pacas parece ser incidental ya que solo se registra en la primera semana en la superficie de la paca.

5.2.7. Dictyoptera (Blattodea)

Este orden hace presencia al final del muestreo, en el centro de la paca y se puede observar en la Figura 16. Al ser saprófago contribuye con la descomposición de la materia orgánica y su presencia podría indicar que el sistema cuenta con una cantidad considerable de humedad (Arango & Agudelo, 2004).



Figura 16. Orden Dictyoptera (Blattodea).

5.2.8. Acari

Se encontraron cinco morfotipos y se identificó una familia que corresponde a la mencionada en la paca tratamiento.

Ixodidae: Se registra su presencia a partir de la semana cinco especialmente en la superficie de la paca.

5.2.9. Araneae

Se encontraron dos morfotipos que coinciden con los evidenciados en la paca tratamiento. Su presencia es reducida e inconsistente a lo largo del tiempo.

5.2.10. Crassicitellata

Las lombrices de tierra halladas en la paca control corresponden a los mismos morfotipos encontrados en la paca tratamiento. Su presencia se registra a partir de la semana siete indicando un proceso de transformación del material presente.

5.2.11. Isopoda

El crustáceo encontrado corresponde a un morfotipo que se puede observar en la Figura 17. Este isópodo terrestre se registró en la semana trece, en el fondo de la paca.



Figura 17. Orden Isopoda.

Aunque su presencia parece ser ocasional, al ser saprófago encontró un ambiente adecuado para alimentarse y sirve como indicador de transformación del suelo ya que habita suelos ricos en humus (SEA, 2015).

6. Conclusiones

- La familia Hypogastruridae indica que a partir de la semana siete comienza a haber una transformación del material orgánico a una estructura similar al suelo para la paca tratamiento y a partir de la semana cinco en la paca control.
- La presencia de la familia Latridiidae se puede asociar a la alta presencia de mohos en las primeras semanas de muestreo.
- La familia Staphylinidae además de ayudar con la transformación del material en descomposición da indicios de transformación del material.
- La presencia de la familia Drosophilidae al inicio del muestreo puede indicar que había fruta en proceso de fermentación al momento de la construcción de las pacas biodigestoras.
- La presencia de anélidos a partir de la séptima semana indica un descenso en la temperatura del sistema y un proceso de transformación del suelo.

- Las pacas biodigestoras se pueden considerar como un ambiente adecuado para la presencia y desarrollo de muchas comunidades de macroinvertebrados, incluso algunos de ellos pueden iniciar y finalizar su ciclo de vida en las mismas.
- Una paca biodigestora se puede definir como un microsistema ya que hay dinámicas ecológicas por parte de las diferentes comunidades, lo que posibilita un correcto desarrollo de redes tróficas.

7. Referencias

Agudelo, R. (2002). OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LA BORRA DE CAFÉ. Trabajo de investigación. Facultad de ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. Obtenido de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/72416/1/10283843.2002.pdf>

Andrade, A., Restrepo, A., Tibaquirá, J. Estimación de biogás de relleno sanitario, caso de estudio: Colombia. Entre Ciencia e Ingeniería. (23). p.p. 40-47. Obtenido de: <http://biblioteca.ucp.edu.co/OJS/index.php/entrecei/article/view/3701/4042>

Arango Gutiérrez, G. P., Piedrahita Vera, L. M., (2004). Mesofauna de las hormigas en el compost de la Corporación Universitaria Lasallista. Revista Lasallista de Investigación. (1). p.p. 22-26. Obtenido de: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/168/1/022-026%20Mesofauna%20de%20hormigas%20en%20el%20compost.pdf>

Ardila Delgado, J., Cano Córdoba, J., Silva Pérez, G., López Arango, Y. (2015). Descomposición de residuos orgánicos en pacas: aspectos fisicoquímicos, biológicos, ambientales y sanitarios. SciELO. (2), pp. 30 - 52. Obtenido de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552015000200005&script=sci_abstract&tlng=es

Barnes, R. (1968). *Invertebrate Zoology*. Philadelphia, EE.UU. W.B. Saunders Company.

Bazán, A., Herrera, M., López, J., Guzmán, R., Nava, G. (2012) Artrópodos asociados a las diferentes etapas de la formación de la composta. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Obtenido de: <http://www.entomologia.socmexent.org/revista/2012/EA/572-575.pdf>

Beccaloni, J. (2009). Arachnids

Fernandez, F. (1997). Artrópodos y salud humana. Navarra. Fondo de Publicaciones del Gobierno de Navarra.

García, L. (2015). Clase Malacostraca. Orden Isopoda. Suborden Oniscidea. Revista Ide@ - SEA (78). Obtenido de: www.sea-entomologia.org/IDE@

Holdridge, L. R. Life zone ecology. Tropical Science Center. San José; Costa Rica. P 149. 1967.

Klots, A. (1960). Los insectos. Barcelona, España. Seix Barral.

Ossa C., L. C. (2016a). Pacas Biodigestoras: de los residuos al abono orgánico. Revista Experimenta, 22-25. Universidad de Antioquía. Medellín, Colombia. Obtenido de: <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/experimenta/article/viewFile/325489/20782861>

Ossa C., L. C. (2016b) Aplicación de la tecnología de las Pacas Biodigestoras para el tratamiento ecológico de los residuos orgánicos de la Universidad de Antioquia. Tesis de Grado. Facultad de ingeniería. Universidad de Antioquía. Medellín, Colombia. Obtenido de: <https://drive.google.com/file/d/0BwecnWVz7HZoXzUxOUhOel9WZTQ/view>

McGavin, G. (2002). Essential Entomology. Oxford.

Morales, G., Wolff, M. (2010). Insects associated with the composting process of solid urban waste separated at the source. Brazilian Journal of Entomology. 54(4). p.p. 645–653. Obtenido de: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0085-56262010000400017&script=sci_arttext

Morales Mira, G., Peláez Jaramillo, C. (2010). EVALUACIÓN CINÉTICA DE LOS DÍPTEROS COMO INDICADORES DE LA EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE. Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín. (17). pp.13-28. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4845708>.

Noguera, K., Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. p.p. 347-356. Obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Katia_Noguera-Oviedo/publication/301799194_Los_rellenos_sanitarios_en_latinoamerica_Caso_colombiano/links/5728bc4608aef5d48d2c8590.pdf

Step, E. (1953). Maravillas de la Vida de los Insectos. Madrid, España. Espasa Calpe.

Rafael, J., Melo, G., Carvalho, C., Casari, S., Constantino, R. (2012). Insetos do Brasil. Amazonas, Brasil. Holos.

Ribera, I., Foster, G. (1997). El uso de artrópodos como indicadores biológicos. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa.

Roman, Gennady & A.K., Joswik, Zaikov & Haghi. (2015). Life Chemistry Research: Biological Systems. CRC Press. p.p. 110.

Triplehorn, C. A., Johnson, N. F., (2005). Borror and DeLong's introduction to the study of insects. (7).