

**EFFECTOS DE LA MINERÍA A CIELO ABIERTO SOBRE LA DIVERSIDAD Y EL
ROL FUNCIONAL DE ARTRÓPODOS EDÁFICOS EN ÁREAS CON DISTINTAS
TEMPORALIDADES DE ABANDONO EN CONDOTO, CHOCÓ, COLOMBIA**

Nelsy Sofia Bonilla Urrutia



**Universidad de Antioquia – Universidad Tecnológica del Chocó
Corporación Académica Ambiental
Maestría en Ciencias Ambientales
Medellín
2019**

**EFFECTOS DE LA MINERÍA A CIELO ABIERTO SOBRE LA DIVERSIDAD Y EL
ROL FUNCIONAL DE ARTRÓPODOS EDÁFICOS EN ÁREAS CON DISTINTAS
TEMPORALIDADES DE ABANDONO EN CONDOTO, CHOCÓ, COLOMBIA**

Nelsy Sofia Bonilla Urrutia

***Proyecto de investigación como requisito para optar al título de Magister en
Ciencias Ambientales***

EQUIPO TUTORIAL

Hamleth Valois Cuesta, Ph.D

Profesor Universidad Tecnológica del Chocó
Director

Giovanny Ramírez Moreno, Ph.D (c)

Subdirector Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico
Co-director

**Universidad de Antioquia – Universidad Tecnológica del Chocó
Corporación Académica Ambiental
Maestría en Ciencias Ambientales
Medellín
2019**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, 17 de Mayo 2018

DEDICATORIA

A mis hijos Esteban y Michelle que con su llegada a mi vida han traído muchas bendiciones y me han enseñado que el amor y la paciencia me permiten lograr las metas propuestas

A mis padres y hermano que con su esfuerzo, dedicación y acompañamiento me permitieron alcanzar importantes logros y me han enseñado que con perseverancia, entrega y fe puedo hacer hasta lo que parece inalcanzable. .

A mi pareja sentimental que con su amor y conocimientos me ha apoyado en este largo y difícil camino y me ha enseñado que la prudencia es una excelente estrategia para permanecer en el tiempo y el espacio indicado.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a:

Dios, por acompañarme, bendecirme, protegerme y permitirme avanzar durante todo este proceso, aun cuando todo se tornaba imposible.

Al Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, en cabeza de William Klingler Brahan por el apoyo financiero, para que esto fuera posible.

Mis tutores, los biólogos Hamleth Valois y Giovanni Ramírez Moreno, por su disposición, apoyo y consejos durante la realización de esta tesis.

Biochocó por permitirme desarrollar mi investigación en el marco de tan importante proyecto y por la financiación de mi tesis.

Mi compañero sentimental y colega Biol. Luis Eladio Rentería por su invaluable apoyo profesional y emocional durante la ejecución de este trabajo

Mi equipo de trabajo, Didier Tobón y Kleyder Copete por su apoyo y asistencia permanente en los trabajos de campo y laboratorio

Al equipo de especialistas de la UNAL en cabeza del profesor Eduardo Flórez por su excelente trabajo en la determinación taxonómica de todo el material capturado en campo, en especial al profesor, a Daniela Martínez y a Diana Molina.

Mis queridos padres por su paciencia, amor y apoyo incondicional durante todo mi proceso académico.

A la comunidad de Jigualito - Condoto, por su valioso aporte, A los guías y a toda la comunidad por la colaboración brindada y permitir que esta investigación se llevara a cabo en su territorio.

CONTENIDO

Pag.

RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo general	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1. Minería a cielo abierto y sus consecuencias sobre los ecosistemas	18
3.3. Artropofauna edáfica y su funcionalidad	20
3.4. La restauración ecológica de ecosistemas degradados.....	22
3.5. Marco legal relacionado con la restauración de suelos degradados por minería.....	23
4. METODOLOGÍA.....	25
4.1. Área de estudio	25
4.2. Métodos.....	32
4.2.1. Muestreo de la artropofauna.....	32
4.2.3. Procesamiento, manejo e identificación de muestras colectadas	34
4.2.4. Composición trófica de la artropofauna edáfica	35
4.2.5. Análisis de los datos.....	36
5. RESULTADOS	36
5.1. Estructura y composición de la comunidad de artrópodos edáficos de áreas con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero.....	39
5.1.1. Composición taxonómica de la comunidad de artrópodos edáficos	39

5.1.2. Cobertura del muestreo y riqueza-abundancia estimada de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono, tras el aprovechamiento minero.....	40
5.1.3. Estructura de la comunidad de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero.....	43
5.2. Funcionalidad de la comunidad de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero.	46
5.2.1. Composición de grupos tróficos de artrópodos edáficos.....	46
5.2.2. Riqueza y abundancia de gremios tróficos en diferentes hábitats.....	47
6. DISCUSIÓN.....	48
6.1.1. Estructura de la comunidad de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero.....	48
6.2. Funcionalidad de la comunidad de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero.	56
7. CONCLUSIONES.....	62
8. RECOMENDACIONES.....	63
9. REFERENCIAS	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio y ubicación de las áreas de muestreos	26
Figura 2. Panorámica de los hábitats de estudio (minas y bosque de referencia) en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia	31
Figura 3. Técnicas de muestreo empleadas en los hábitats estudiados.....	34
Figura 4. Análisis de coverge donde	42
Figura 5. Diversidad, dominancia y equitatividad entre hábitats.....	43
Figura 6. Dendrograma de similitud de la artropofauna edáfica en los distintos hábitats de estudio, a partir del índice de Jaccard.....	44
Figura 7. Grupos tróficos por hábitats, con base en la riqueza de especies y en la abundancia relativa.....	48
Figura 8 Esquema-Resumen de resultados generales	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 2. Recambio de especies empleando el índice de Whittaker	45
Tabla 3. Importancia ecológica de las morfoespecies en cada hábitat en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia.....	46

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de microhábitats por área muestreada	78
Anexo 2. Composición taxonómica de la artropofauna edáfica presente en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia.....	81
Anexo 3. Composición de gremios tróficos de artrópodos edáficos de Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia.....	88

RESUMEN

Los artrópodos edáficos constituyen un elemento fundamental en el mantenimiento de muchos procesos ecológicos dados en el suelo, sin embargo en áreas intervenidas con actividad minera, estos se ven drásticamente afectados, debido a la alteración del microambiente en el cual viven, viéndose alteradas las funciones realizadas por estos y con ello la integridad del suelo. No obstante, el conocimiento sobre la ecología funcional de organismos edáficos como los artrópodos, en áreas degradadas por minería, son escasos. Esto ha generado vacíos de información acerca del rol de los artrópodos en dinámica, estructura y funcionalidad de los suelos, con miras a comprender la contribución de ellos en los procesos de regeneración del suelo una vez ha cesado la presión de este tipo de actividad sobre ellos.

Este trabajo buscó evaluar el efecto de las minas abandonadas con diferente períodos de recuperación, sobre la diversidad taxonómica y el rol funcional de la artropofauna edáfica en áreas degradadas por minería a cielo abierto en Condoto (Chocó). Sobre la base de estos aspectos, se estimó la diversidad de los artrópodos edáficos y se determinaron los gremios tróficos como estrategia funcional, de igual forma se estableció la variación de la diversidad de este grupo con respecto al tiempo de recuperación de las áreas. Se seleccionaron tres hábitats con distintas edades de abandono (mina 5-10 años, mina 15-20 años, mina >30 años) y un bosque sin intervención minera (hábitat de referencia). Se realizaron muestreos empleando dos métodos: trampas Pitfall y muestreo manual. Se realizaron análisis comparativos tanto de la diversidad como de los gremios tróficos presentes en los distintos hábitats, mediante el cálculo del P-valor aplicando ANOVA y Kruskal Wallis, índices de diversidad alfa y beta e índice de valor de importancia.

Un total de 231 morfoespecies y 6.207 individuos fueron capturados. Los órdenes Hymenoptera y Coleoptera fueron los más representativos. El hábitat

de referencia presentó la mayor riqueza, mientras que M5-10 años obtuvo la mayor abundancia. M>30 años presentó la mayor diversidad. Los menores valores de riqueza y diversidad se presentaron en M5-20 años, lo cual se relaciona directamente con la ausencia de una capa orgánica importante que provea alimento, refugio y protección a la variada artropofauna propia de estos bosques. Por otro lado, se encontraron 6 grupos funcionales, donde los mejor representados a nivel de riqueza y abundancia correspondieron a omnívoros (81 morfoespecies y 53% de los individuos). La diversidad de artrópodos edáficos y la composición de gremios tróficos varió notablemente de acuerdo con la temporalidad de abandono de las minas, mostrándose mayor en M>30 años; siendo además el área que guardó la mayor similitud con el hábitat de referencia. Se evidenciaron importantes cambios en la composición de especies, encontrándose la mayor diferencia entre Referencia y M5-10 años. Lo anterior permitió inferir que M5-10 años presentó menor potencial en la funcionalidad a nivel trófico. Además se destacó el gremio detritívoro como un posible indicador de suelos perturbados por la minería a cielo abierto.

Palabras clave:

Entomofauna, artropofauna descomponedora, funcionalidad ecológica, gremios tróficos, impactos de la minería, restauración ecológica.

INTRODUCCIÓN

En las áreas degradadas por la minería, el suelo constituye el principal aspecto a estudiar en los procesos de restauración ecológica. Por lo tanto, uno de los primeros pasos para procurar la restauración natural de áreas afectadas por minería es la recuperación de la estructura y funciones del suelo, lo cual en gran parte, es llevado a cabo por organismos presentes en este y cuyos procesos funcionales ayudan a su reconstrucción y mantenimiento (Cabrera, 2014). Dichos organismos pasan toda, o una parte de su vida, sobre la superficie inmediata del suelo, en los troncos en descomposición, la hojarasca y bajo la superficie; incluyendo especies microscópicas hasta vertebrados de talla mediana (Lavelle et al. 1992). En este medio, los organismos establecen interacciones que favorecen la funcionalidad e integridad del suelo. Los artrópodos por ejemplo, desempeñan importantes funciones ecológicas, tales como el reciclaje de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y la conservación de la estructura del terreno, lo que garantiza la calidad y fertilidad del medio edáfico en sistemas naturales, agrícolas y forestales (Cabrera et al. 2011 y Brown et al. 2001), proporcionando así, valiosos servicios ecosistémicos.

La fauna edáfica también interviene en los procesos de mineralización del fósforo y el nitrógeno. Los grupos que la integran son reguladores del proceso trófico del medio edáfico, al ayudar en la formación de su microestructura con sus aportes de deyecciones, excreciones, secreciones y con sus propios cadáveres. (García-Álvarez y Bello 2004). También facilitan la diseminación de esporas, hongos y otros microorganismos, por lo que son conocidos como catalizadores de la actividad microbiana. Además se les reconoce como microingenieros del medio edáfico, ya que construyen galerías en el suelo y mejoran las propiedades físicas de este, al favorecer la aireación y la infiltración de agua. Por ello constituyen factores decisivos para el mantenimiento de su productividad (Cabrera, 2014).

Muchos artrópodos intervienen en la trituración de los restos vegetales para su reintegración al suelo (Cabrera et al. 2011 y Micó et al. 2013). Adicionalmente, muchos de los grupos son sensibles a las perturbaciones naturales y antrópicas del medio, las cuales provocan cambios en su composición específica y su abundancia, y ocasionan la pérdida de especies y de su diversidad, con la consiguiente disminución de la estabilidad y la fertilidad (Ruiz 2007, Lavelle et al. 2003 y Pashanasi 2001). Por tales motivos, son considerados como un buen indicador biológico del estado de conservación del suelo.

La disminución de la abundancia y diversidad de dichos organismos conduce invariablemente a una pérdida de determinadas funciones importantes en el suelo, como es el caso de la degradación, reciclaje y reutilización de la hojarasca en el medio edáfico (Lavelle et al. 1993). Dichas características se pierden en un ecosistema por efecto de diversas alteraciones, sean naturales o antrópicas, estas últimas producen grandes cambios en el ambiente edáfico dependiendo del tipo y la intensidad de la actividad antrópica realizada.

En este contexto, una de las actividades antrópicas que en la actualidad impacta más los suelos del Chocó, es la minería mecanizada, mediante la cual se retiran amplias hectáreas de cobertura vegetal y se remueven grandes volúmenes de tierra, propiciando la pérdida de su estructura (por efecto de la erosión, sedimentación, disgregación o compactación) y fertilidad (materia orgánica, nutrientes). Según Lavelle (2000) este tipo de perturbación propicia la disminución o pérdida de poblaciones de invertebrados clave, siendo gran parte de ellos artrópodos edáficos, acarreando además con la disminución de la funcionalidad y la integridad ecológica del suelo y con la capacidad productiva del mismo.

Hasta la fecha se han realizado estudios sobre la macrofauna edáfica presente en áreas con intervención antrópica (pastoreo, monocultivos, incendios

forestales, cultivos agrícolas), los cuales han destacado a los termites y diplópodos como los grupos más abundantes en áreas degradadas en proceso de restauración y se ha evidenciado que a mayor nivel de disturbio, menor será la riqueza de artrópodos presentes en el suelo (Cabrera, 2012; Cabrera et al. 2011, Delgado et al. 2011, Ruiz-Cobo et al. 2010, Zerbino, 2005 y Feijoo et al. 1999), Sin embargo, estos estudios consideraron áreas con alteraciones antrópicas (incendios, pastoreo y monocultivos) que aparentemente no destruyen la capa orgánica del suelo en su totalidad. En el Chocó Biogeográfico se han realizado algunos estudios sobre la biodiversidad edafológica en áreas degradadas por minería (IIAP 2012, 2013 y Vargas et al. 2010), pero no se ha logrado estimar tal pérdida. Por lo anterior, se considera que existen grandes vacíos en la información relacionada con la artropofauna presente en áreas disturbadas por minería mecanizada de oro y platino a cielo abierto y como se ve afectado este importante grupo faunístico en términos de diversidad y funcionalidad en este tipo de áreas. Por lo anterior, se hace necesario emprender investigaciones relacionadas con el tema, lo que es un importante punto de partida para entender los efectos potenciales de dicha actividad en los suelos que componen los ecosistemas del Chocó. Por ello, el desarrollo de esta investigación, la cual tiene por fin generar información útil para la planificación, gestión y reconstrucción del patrimonio natural del departamento del Chocó, con ello los bienes y servicios ambientales y económicos que le generan bienestar a la sociedad.

Este estudio tuvo énfasis en el conocimiento de la composición taxonómica y trófica de la artropofauna edáfica de áreas degradadas por minería en estado de regeneración, destacando la funcionalidad como el factor más afectado, que al tiempo determina la integridad del ecosistema y cuyo estudio es necesario para procurar la restauración de sus propiedades. El estudio de dicha funcionalidad se enfocó en la diversidad de gremios tróficos presentes en cada área y su relación con el tiempo de restauración de las minas abandonadas.

Es necesario tener en cuenta que la generación de conocimiento científico relacionado con la diversidad funcional es una herramienta clave para la conservación y manejo integral de los servicios ecosistémicos. Diferentes áreas de las ciencias biológicas están incorporando este enfoque, por ejemplo, la ecología de la restauración, soportada por la ecología funcional, permite diseñar comunidades que recuperen no solo la cobertura forestal sino procesos y servicios ecosistémicos (Salgado-Negret, 2015). Dicho enfoque puede ser clave para entender los mecanismos de ensamblaje de las comunidades y los procesos de los ecosistemas, así como los servicios que estos ofrecen. Adicionalmente, se ha demostrado que la diversidad funcional es más susceptible a cambios ambientales y motores de cambio global que la pérdida de especies (Taylor et al. 2006).

Con esta investigación se pretende entender ¿Cómo cambia la diversidad taxonómica y de gremios tróficos de la artropofauna edáfica en minas con distintas temporalidades de abandono en Condoto, Chocó?

1. HIPÓTESIS

Bajo la premisa de que el disturbio ocasionado por la minería a cielo abierto tiene un efecto directo sobre la diversidad edáfica, esperamos que la diversidad taxonómica y de gremios tróficos cambie según la temporalidad del disturbio, reduciéndose a medida que el tiempo de restauración es menor y donde los generalistas tróficos dominen los hábitats de recuperación temprana y los más especializados en sus requerimientos tróficos presenten importantes valores de dominancia en hábitats de recuperación tardía.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar los efectos de la minería a cielo abierto sobre la diversidad y rol funcional de artrópodos edáficos en áreas con distintas temporalidades de abandono en Condoto, Chocó, Colombia.

2.2. Objetivos específicos

- Estimar la diversidad de la comunidad de artrópodos edáficos presentes en áreas degradadas por minería, con distintas temporalidades de abandono en Condoto, Chocó.
- Determinar los gremios tróficos de la artropofauna edáfica y establecer su variación con respecto a las diferentes temporalidades de abandono de áreas degradadas por minería a cielo abierto.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Minería a cielo abierto y sus consecuencias sobre los ecosistemas

La minería es una actividad que se desarrolla en forma progresiva por capas o terrazas en terrenos previamente delimitados y se emplea en lugares donde los minerales están a poca profundidad (IIAP 2012). El Decreto 2222 de 1993, define la minería a cielo abierto como una actividad encaminada a la extracción de minerales por medio de excavaciones superficiales, que comprende etapas

como: remoción del horizonte A, extracción del mineral y restauración de las áreas afectadas por la explotación.

Sistemas de explotación minera en la región del Chocó:

La extracción a cielo abierto de oro y platino se desarrolla mediante la aplicación de tres sistemas de explotación: artesanal, semitecnificado y tecnificado. En el primero se utilizan elementos y herramientas manuales elaboradas artesanalmente; en la extracción semitecnificada se incluyen equipos como elevadores de tierra, draguetas y bombas de baja y alta presión, que mejoran el rendimiento y la productividad de la extracción del mineral y en la tecnificada se utiliza maquinaria pesada (retroexcavadoras), con la cual se retira la cobertura vegetal y se remueven grandes volúmenes de tierra, que tras la extracción del metal, es vertida a las fuentes hídricas más cercanas. Esto ocasiona impactos ambientales considerables, los cuales se entienden como la alteración o modificación resultante de la confrontación entre un ambiente dado y un proceso productivo de consumo o un proyecto de desarrollo (IIAP, 2012). Aunque en el Chocó Biogeográfico este tipo de extracción se realiza en muchos de sus ecosistemas, se concentran en los ambientes de terrazas y colinas bajas (50-250 msnm), donde se han caracterizado seis ecosistemas (Rangel, 2004). A pesar de su enorme riqueza de recursos naturales y biodiversidad, estos ambientes han sufrido un deterioro acelerado, aumentando el número de ecosistemas y áreas degradadas por la actividad minera en la zona. En estos ecosistemas se han reducido considerablemente la diversidad, productividad y habitabilidad. Esto implica una pérdida de vegetación, suelo y contaminación de las fuentes hídricas. En estas tierras degradadas, la productividad y diversidad se han reducido de tal modo que es poco probable que recuperen su estado original, a menos que se apliquen medidas de rehabilitación especiales (UICN et al. 1991).

3.2. Ecología funcional: gremios tróficos

La diversidad funcional es una de las dimensiones de la diversidad, definida como el grado de diferencias de rasgos funcionales entre y dentro de las especies (Mason y de Bello, 2013). Estos rasgos funcionales son las características morfológicas, fisiológicas o fenológicas medidas a nivel individual, sin referencia al ambiente o cualquier otro nivel de organización, que impactan el éxito biológico a través de sus relaciones con el crecimiento, reclutamiento y mortalidad (Violle et al. 2007).

Algunos autores describen la diferencia entre los grupos funcionales y los gremios tróficos. Terborgh y Robinson (1986) por ejemplo, argumentan que los gremios son un grupo de especies que utiliza el mismo tipo de recurso para su supervivencia; mientras que Moreira et al. (2012), afirman que los grupos funcionales se refieren a especies que utilizan estrategias similares para explotar el recurso y pueden estar formados por más de un gremio. Esta diferenciación permite identificar el enfoque del estudio a realizar.

3.3. Artropofauna edáfica y su funcionalidad

Los artrópodos edáficos presentan múltiples hábitos alimenticios, por lo que se clasifican en gremios tróficos como son detritívoros, fitófagos (con toda su amplia variación), depredadores, omnívoros y parásitos. Los detritívoros son descomponedores o desintegradores que se alimentan de material vegetal o animal (carroñeros o necrófagos) en distintos grados de descomposición (detritos), incluyen varios micro y macro-artrópodos. Los fitófagos se alimentan de plantas vivas (raíces y/o partes aéreas) e incluyen algunos micro y macro-artrópodos. Los depredadores son principalmente carnívoros y se alimentan de otros organismos, incluyendo varias familias de escarabajos, hormigas, ciempiés, arácnidos y escorpiones. Los omnívoros comen todo tipo de alimento, tanto de origen vegetal como animal. Los parásitos son organismos

que viven a costas de otro (*i.e.*, sin darle ningún beneficio) e incluyen algunas moscas (Cordero, 2008).

La macrofauna puede subdividirse en organismos epígeos, endógeos y anécicos (Lavelle, 1997). Cada una de estas categorías cumplen un papel diferente en el funcionamiento del ecosistema edáfico, aunque miembros de una misma categoría (*e.g.* los endógeos) pueden también tener efectos distintos sobre el suelo (*e.g.* compactantes y descompactantes) (Brown et al. 2001).

De otra parte, los epígeos viven y se alimentan en la superficie del suelo; la mayor parte de su alimento lo compone la hojarasca (macroartrópodos detritívoros y pequeñas lombrices de tierra pigmentadas), otros grupos comen plantas vivas (larvas de mariposas, caracoles) y otros como las arañas, hormigas, ciempiés y algunos escarabajos son predadores del resto de la fauna. La función primordial de los epígeos es fragmentar la hojarasca y promover su descomposición. Los endógeos, representados principalmente por las lombrices de tierra geófagas y los termes, viven en el suelo y se alimentan de materia orgánica o de raíces (vivas o muertas). Los anécicos, por su parte, están representados por las lombrices de tierra, las termitas y las hormigas, se alimentan principalmente de la hojarasca de la superficie (también pueden ingerir estiércol de ganado o excretas de otros invertebrados), pero viven en el suelo formando redes semi-permanentes de galerías y a veces nidos como vivienda y lugar para acumular recursos; su papel principal está en la reubicación de la hojarasca, cambiando la dinámica de su descomposición y su distribución espacial (Brown et al. 2001).

La funcionalidad del suelo depende, en gran medida, de los organismos que habitan en él (Kolmans y Vásquez, 1996), los cuales ejercen un rol vital con respecto a la estructura y al ciclo de nutrientes en los ecosistemas tropicales (Crespo y Rodríguez 2000, Lavelle et al. 1994, Schrader y Zhang, 1997). Estos

provocan alteraciones directas a la productividad vegetal y/o cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectan el crecimiento de las raíces y modifican por lo tanto, el crecimiento vegetal y la cantidad de materia orgánica (Brown et al. 2001). La disminución de la abundancia y diversidad de dichos organismos conduce invariablemente a una pérdida de determinadas funciones importantes en el suelo, como es el caso de la degradación, reciclaje y reutilización de la hojarasca en el medio edáfico.

3.4. La restauración ecológica de ecosistemas degradados

La restauración ecológica es definida por algunos autores como una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Las áreas degradadas, dañadas, transformadas o totalmente destruidas como resultado directo o indirecto de las actividades humanas o intensificadas por causas naturales, como incendios, inundaciones, tormentas o erupciones volcánicas, deben ser restauradas (SER, 2004). Sin embargo previo al emprendimiento de programas de restauración deben evaluarse las afectaciones, los daños y pérdidas e identificar los potenciales de restauración, mediante la realización de estudios sobre la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema alterado. Así como la información obtenida de ecosistemas comparables, teniendo en cuenta datos de condiciones ambientales, aspectos ecológicos, culturales e históricos. Para este caso se debe contar con un ecosistema de referencia, que brinde información sobre los elementos originales afectados por la actividad.

La restauración busca restablecer no solamente la función del sitio, sino además sus componentes, estructura y complejidad. Depende de un propósito intencional y de actividades humanas constructivas. No intenta únicamente imitar lo que era un sistema, sino además replicar su función y estructura, convirtiéndola en una organización sostenible autónoma y persistente. Un sistema restaurado es capaz de sostenerse así mismo, puede resistir

invasiones por nuevas especies, es tan productivo como el original y tiene interacciones bióticas similares al original (MAVDT, 2010).

Un posible bioindicador que permite la identificación, el monitoreo ambiental y el desarrollo de estrategias de manejo, restauración y conservación es la resiliencia, que se refiere a la habilidad y capacidad que tienen los ecosistemas de absorber, amortiguar y resistir los cambios abióticos y bióticos que ocurren después de las perturbaciones de origen natural o antropogénico (Bellwood et al. 2004). Esta capacidad de recuperación o amortiguamiento es determinada por variables específicas asociadas con la regeneración como la composición de plantas, la productividad, la biomasa, la acumulación de nutrientes en el suelo y la diversidad ecológica (Pimm, 1999).

Se conoce como “resiliencia” o elasticidad de los ecosistemas y/o comunidades a la capacidad que tienen las especies que forman parte de estos, de regresar al estado original después de que se ha producido un cambio debido a perturbaciones naturales o por actividades humanas (Doak et al. 1998). La importancia de la “resiliencia” ha sido reconocida por los ecólogos en términos de que la “resiliencia” determina la estática y el comportamiento inter-temporal de los diferentes sistemas ecológicos y económicos (García-Romero et al. 2005).

3.5. Marco legal relacionado con la restauración de suelos degradados por minería

Existen más de 38 artículos relacionados con la restauración de los recursos naturales en general, declarados por el sistema legislativo colombiano, de los cuales el 37% (14) corresponden a normatividad sobre restauración de suelos degradados, que señalan la gran necesidad de revertir los daños generados al suelo como soporte de los demás recursos naturales, como un deber del

estado para garantizar la conservación del ambiente y por tanto la calidad de vida de la población.

En la Constitución Nacional, se presentan 6 artículos específicos (79, 80, 95, 330, 331, 334) relacionados con la regulación del manejo, uso, conservación y reparación de los recursos naturales y de forma específica sobre el uso del suelo, se dictan los artículos 360 y 361, en los cuales se propone una compensación y obtención de regalías en áreas de explotación minera, que deberán ser dirigidos entre otros aspectos, a la preservación del ambiente. Sin embargo este reglamento ya estaba estipulado en el Decreto 2811 de 1974, del Código de los Recursos Naturales, mediante sus artículos 182 al 186. Relacionado con el uso y conservación de los suelos degradados y en los artículos 324 al 326 relacionados con los Distritos de Conservación de Suelos, asignados también en el artículo 16 del decreto 2372 de 2010, donde se presenta esta figura, como medida de manejo especial orientado a la recuperación y conservación de suelos alterados o degradados o la prevención de degradaciones; de igual forma en los artículos 1 y 9 de la ley 2 de 1959 el congreso de la república planteó las Zonas Forestales Protectoras como medida de protección de los recursos naturales, entre ellos el suelo.

En el marco de la normatividad ambiental en materia de restauración de ecosistemas degradados, y debido a la gran necesidad de plantear un proceso organizado, coherente y viable sobre el restablecimiento y recuperación de ciertas propiedades de los ecosistemas degradados en Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible crea el plan de restauración Nacional, como un instrumento de implementación de la Política Pública Ambiental, en especial de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos y de la Política Forestal (Plan Nacional de Desarrollo Forestal), que busca desarrollar procesos de recuperación, rehabilitación y restauración de áreas disturbadas, incluida en la propuesta actual de la Política Nacional para la Gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos.

4. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló en el municipio de Condoto en la Selva Pluvial Central, ubicada al occidente del país en el departamento del Chocó, en la zona conocida como Distrito minero del San Juan (Subregión del San Juan), el cual está localizado a los 5° 06' 01" latitud norte y 76° 32' 44" longitud oeste del meridiano de Greenwich. Corresponde a la zona centro del corredor de conservación Chocó-Manabí, la zona más importante en términos de biodiversidad del Hotspot o Eco región Terrestre Prioritaria Tumbes-Chocó-Magdalena, reconocido mundialmente como uno de los sitios más diversos biológicamente, ofreciendo un hábitat para muchas especies únicas de flora y fauna (CEPF, 2002).

El área corresponde a la zona de vida de bosque pluvial tropical «Bp-T» (Espinal, 1977), la cual caracteriza por presentar la mayor precipitación y humedad disponible de toda la región Pacífica, con una pluviosidad moderadamente alta (8000mm), una húmeda relativa que la ubica dentro de las zonas con balance hídrico perhumedo a superhumedo (86%) y una temperatura megatermal que oscila entre los 25 y 28°C.

Dado que la principal fuente de ingresos en el municipio reside en la explotación de metales preciosos (oro y platino) a cielo abierto, además de una incipiente producción agrícola y un irregular aprovechamiento forestal (Consejo Municipal de Condoto, 2012), el paisaje de esta región se destaca por sus diversas modificaciones, producto de esta explotación minera, que ha dejado amplias zonas degradadas y deforestadas, especialmente en los bosques de terrazas altas que constituyen los valles entre las cuencas de los ríos Condoto y Opogodó.

Selección de áreas de muestreos

Se establecieron cuatro áreas de estudio (tres minas de distinta edad y un bosque de referencia), las cuales fueron seleccionadas de acuerdo a una investigación previa, realizada a su edad de abandono después del cese de la actividad minera para el caso de las áreas mineras (IIAP-MADS, 2012) definiendo una crono-secuencia sucesional. Estos sitios se encuentran ubicados en el municipio de Condoto, en las coordenadas geográficas 05° 02' 45" de latitud N y 76° 42' 20.8" de longitud W (figura 1).

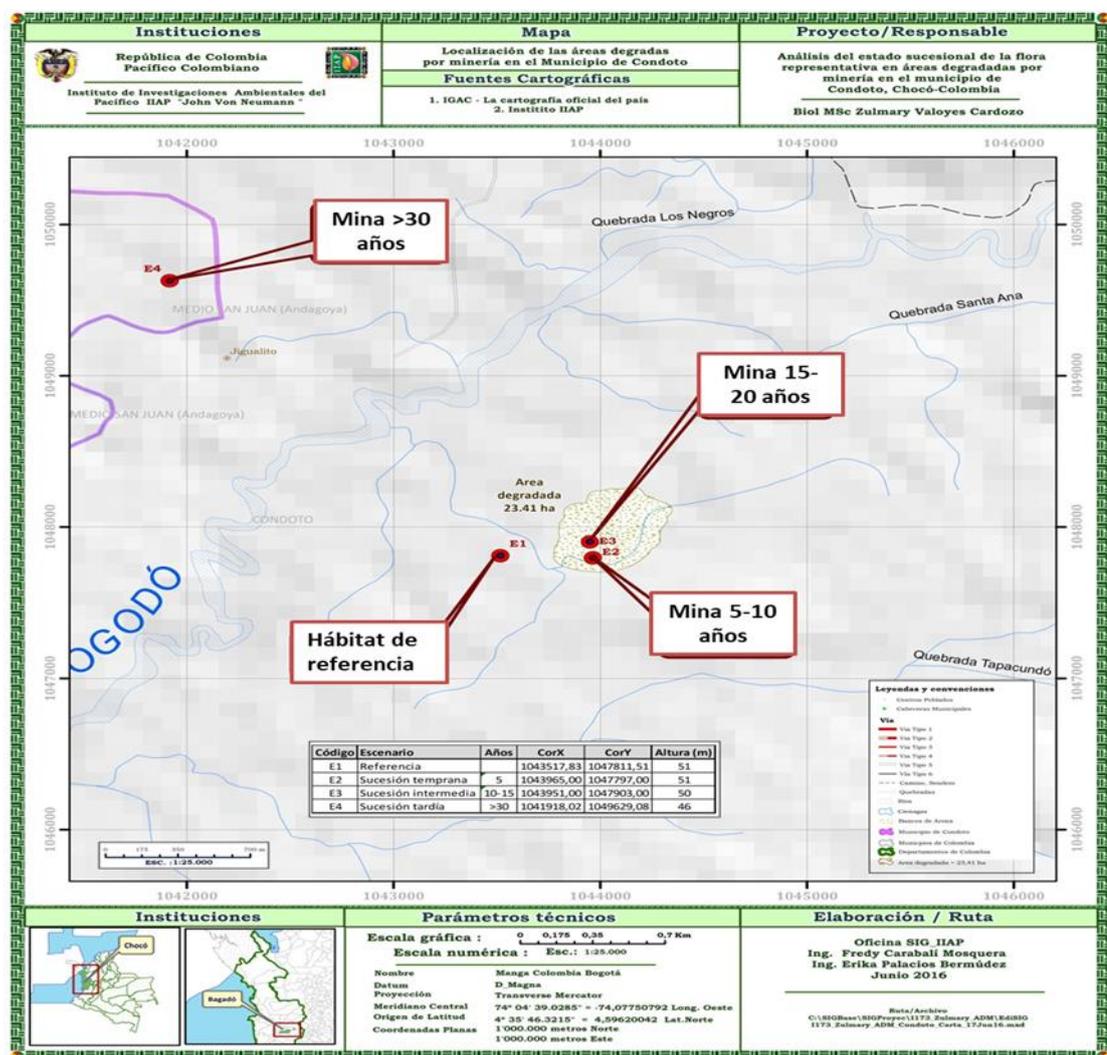


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las áreas de muestreos

Escenarios de estudio y crono-secuencia

Mina en regeneración pasiva con 5-10 años (M5-10 años): Hábitat con 5 a 10 años de haber sido afectada por minería, Localizado en las coordenadas 5°1'41.92'' de latitud N y -76°40'51.78'' de longitud W, corresponde a un bosque recientemente intervenido por actividad minera, con un suelo desprovisto de materia orgánica, sin horizontes definidos, compuesto principalmente por grava, con una micro topografía con ondulaciones intermedias, rodeados de lagunas artificiales (Canales resultantes de la actividad minera). El área presenta poca vegetación lo que ocasiona que los rayos solares penetren casi directamente al suelo lo cual crea condiciones ambientales extremas que varían con el fotoperiodo del día., se observó un proceso de sucesión primario en donde la flora dominante la constituyen especies (principalmente heliofitas), de porte herbáceo constituidas principalmente por Gramíneas, algunas Leguminosas, Rubiáceas y Melastomatáceas con especies pioneras como *Andropogon bicornis* (Poaceae), *Eragrostis cilianensis* (All. Vign. ex Janchen) (Poaceae), *Homolepis aturensis* (Kunth) (Poaceae), *Paspalum paniculatum* (Poaceae), *Mimosa púdica* (Fabaceae), *Borreria latifolia* (Aubl. K. Schum. 1888) (Rubiaceae), *Isertia pittieri* (Standl.) (Rubiaceae), *Bellucia pentámera* (Melastomataceae), *Clidemia seríceea* (Melastomataceae), *Clidemia* sp. (Melastomataceae), *Nepsera aquatica* (Asteraceae), *Acisanthera quadrata* (Pers.) (Melastomataceae), *Tonina fluviatilis* (Aubl.) (Eriocaulaceae) entre otras y algunas especies de plantas leñosas en estado plántula y juvenil, las cuales están dispersas y cercanas a la matriz como *Crotón chocoanus* (Euphorbiaceae) (figura 2).

Mina en regeneración pasiva con 15-20 años de abandono (M15-20 años): Hábitat con 15 a 20 años de haber sido afectada por minería, localizado en las coordenadas 5°1'45.37'' de latitud N y -76°40'52.24'' de longitud W, corresponde a un bosque intervenido por la actividad minera, con aproximadamente diez años de sucesión; presenta una micro topografía

moderada con ondulaciones, suelos sin una estructura definida conformados principalmente por gravas producto de la actividad minera, el área esta bordeada por varias lagunas producto de esta actividad; con una vegetación de tipo arbustivo (principalmente heliofitas), es decir que el proceso de sucesión se encuentra parcialmente avanzado, predominan dos estratos uno herbáceo (el cual crearan una capa densa de vegetación baja que cubre el suelo y limitará la movilidad dentro de este y la penetración directa de los rayos solares), conformado principalmente por gramíneas como *Andropogon bicornis* (Poaceae), *Eragrostis cilianensis* (All. Vign. ex Janchen) (Poaceae), *Homolepis aturensis* (Kunth) (Poaceae), *Paspalum paniculatum* (Poaceae), *Nepsera aquatica* (Asteraceae), *Acisanthera quadrata* (Pers.) (Melastomataceae), *Borreria latifolia* (Aubl. K. Schum.) (Rubiaceae), *Tonina fluviatilis* (Aubl.) (Eriocaulaceae), y uno arbustivo con especies como *Cespedesia spathulata* (Ochnaceae), *Cecropia peltata* (Linneo, 1759) (Urticaceae), *Vismia macrophylla* (Hypericaceae), *Vismia baccifera* (L.) entre otros elementos vegetales (figura 2).

Mina en regeneración pasiva con más de 30 años de abandono (M>30 años): Área con más de 30 años de haber sido afectada por minería, localizada en las coordenadas 5°2'41.60'' de latitud N y -75°41'58.20'' de longitud W. Esta área presenta una micro topografía moderada con ondulaciones en el terreno las cuales modelan el paisaje, el suelo carece de una estructura definida, está compuesto por grava dejada por la actividad minera, la cual es nutrida por la hojarasca producto de la biomasa que contienen los arboles presentes en el área. La flora presente en el área (principalmente heliofitas), está constituida estructuralmente por dos estratos, uno herbáceo o rasante, donde predominan helechos, plántulas de diferentes especies y vegetación herbácea de hasta un metro de altura, en donde predominan *Columnea picta* (H.Karst.) (Gesneriaceae), *Columnea purpumarginata* (Gesneriaceae), *Glossoloma panamensi* (C.V. Morton) (Gesneriaceae), *Anthurium aureum* (Araceae), *A. bakeri* (Araceae), *A.*

formosum (Araceae), *Philodendron fragrantissimum* (Hook.) G. Don (Araceae), y otras; el estrato arbóreo presenta una fisionomía variable con alturas que oscilan entre 15-20 m de altura. Florísticamente se encuentra compuesto especies de dosel como *Cespedesia spathulata* (Ruiz & Pav.) Planch (Ochnaceae), *Inga punctata* (Fabaceae) , *Cecropia peltata* (Linneo, 1759) (Urticaceae), entre otras, especies generalistas propias de áreas intervenidas (figura 2).

Hábitat de referencia (HR): Esta área se encuentra localizada en las coordenadas 5°1'42.40 latitud Norte y -76°41'6.30'' de longitud W, corresponde a la matriz de bosque adyacente a las minas. Se trata de un bosque secundario con aprovechamiento selectivo de algunos árboles pero donde se conservan los elementos principales del bosque original, donde nunca se ha practicado la actividad minera; presenta suelos con una topografía homogénea, mal drenados, con una estructura definida y una capa orgánica definida; la vegetación del área está constituida por variadas especies (principalmente esciofitas), cuya composición y estructura es dominada por especies arbóreas, algunas de ellas propias de áreas intervenidas, pero dominan especies de la composición original que favorecen la presencia de un suelo cubierto de hojarasca, troncos y unas condiciones de humedad estable fundamental para la edafofauna. Este bosque de referencia presento tres estratos bien definidos, el dosel con una altura que oscilo entre unos 18- 20 m de altura, dominado por especies arbóreas como *Virola* sp. (Myristicaceae), *Guatteria* sp. (Annonaceae), *Phragmotheca mammosa* (Malvaceae), *Compsonaura* spp; palmas de dosel como *Wettinia quinaria* (OF Cook & Doyle, Burret) (Arecaceae) y *Socratea exorrhiza* (Mart., H.Wendl. 1860) (Arecaceae). El sotobosque está dominado por arbolitos como *Matisia castano* (Malvaceae), *Carpotroche* sp. (Achariaceae), *Miconia* spp. (Melastomataceae) (Arecaceae) y palmas como *Attalea allenni* (H.E. Morre ex L.H. Bailey 1949) , , *Geonoma cuneata* (Arecaceae), *Aiphanes* sp, *Bactris hondurensis* (Standl.) (Arecaceae), *Asterogyne martiana* (H.Wendl., H. Wendl. ex Hemsl) (Arecaceae).. En el

estrato herbáceo predominan plántulas de *Helicostylis towarensis* (Moraceae), *Huberodendron patinoi* (Cuatrec.) (Malvaceae), y hierbas como *Cyclanthus bipartitus* (Poit.) (Cyclanthaceae), *Glossosoma panamensi* (C.V. Morton) (Gesneriaceae), entre otras (figura 2).

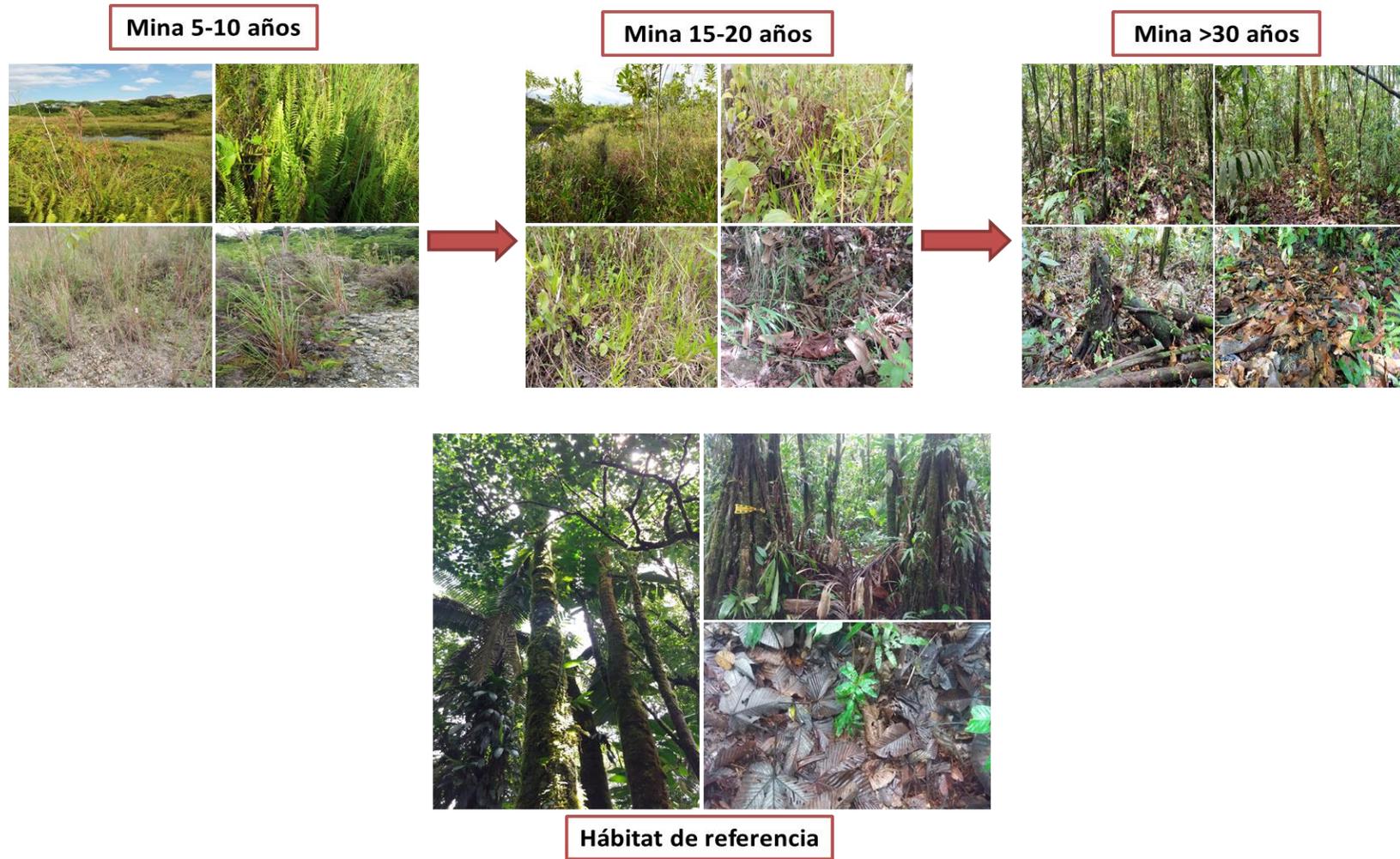


Figura 2. Panorámica de los hábitats de estudio (minas y bosque de referencia) en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia

4.2. Métodos

4.2.1. Muestreo de la artropofauna

El trabajo de campo se realizó entre los meses de marzo – Mayo de 2015 y julio – agosto de 2017, tiempo durante el cual se realizaron seis visitas a las zonas objeto de estudio con una duración de cinco días cada una. El trabajo de campo constó de dos períodos metodológicos, los cuales permitieron registrar altos valores arrojados en el porcentaje del alcance del muestreo en los hábitats (registrando entre el 100% y el 98%), teniendo en cuenta que en cada uno se aplicaron distintas estrategia metodológica (período I: trampas y captura manual por transectos y período II: trampas y captura manual por microhábitat), lo que permitió un completo barrido de los hábitats y por consiguiente un registro completo de la estructura de la comunidad estudiada. Dichos períodos se describen a continuación:

Período I. captura de especímenes mediante ubicación de trampas pitfall y captura manual directa y en transectos lineales: durante este primer período de muestreo se ubicaron tres transectos lineales de 50 m en cada hábitat. En estos se aplicaron dos métodos complementarios que permitieron la captura de los diferentes grupos taxonómicos y funcionales: ubicación de trampas pitfall y captura manual. Se ubicaron y revisaron tres trampas Pitfall activas durante 48 horas y se realizaron tres muestreos por tres personas durante tres horas, entre 09:00 am - 12:00 m. En total se empleó un esfuerzo de muestreo de 1.377 horas/trampa/hombre.

Período II. Captura de especímenes mediante ubicación de trampas pitfall y captura manual directa en distintos tipos de microhábitats: Con el fin de incrementar la representatividad de los muestreos y de tener un registro completo de la estructura de la comunidad estudiada, se desarrolló un segundo período de campo en el cual se realizaron tres muestreos. Durante el estudio se presentaron días de sequía y días de precipitación moderada a fuerte.

Esta estrategia metodológica consistió en la identificación y selección de siete puntos por muestreo, cubriendo los diferentes microhábitats existentes en cada área. En cada microhábitat se aplicaron dos métodos complementarios: trampas pitfall y captura manual. Se ubicaron y revisaron 21 trampas Pitfall activas durante 48 horas y se realizaron tres muestreos por tres personas durante tres horas, entre las 09:00 am - 12:00 m. En total se empleó un esfuerzo de muestreo de 12.204 horas/trampa/hombre.

4.2.2. Recolecta de especímenes:

Para las capturas por medio de pitfall durante el período I se ubicaron tres trampas por transecto, para un total de nueve trampas por hábitat, separadas por 15 m entre sí. Para el período II se ubicaron tres trampas por microhábitat, para un total de 21 trampas por hábitat en cada muestreo (63 trampas/hábitat). Estas fueron construidas con recipientes plásticos de 10 cm de diámetro y de ½ litro de capacidad y enterradas hasta que la boca quedara a ras del suelo, cada una contuvo una solución de 1/3 de etanol al 70%, 2/3 de agua y una gota de jabón (Villarreal et al. 2004).

La captura manual consistió en la búsqueda activa de individuos a lo largo de cada transecto y microhábitat, inspeccionando bajo la hojarasca, debajo y dentro de troncos en descomposición, bajo piedras, en cuevas y en raíces, utilizando pinzas entomológicas y frascos para muestras con alcohol (modificado del método de transecto de termitas establecido por Jones y Eggleton 2000) (véase figura 3).



Figura 3. Técnicas de muestreo empleadas en los hábitats estudiados: (A) muestreo manual en tronco en descomposición. Trampas pitfall en diferentes microhábitats (B. hojarasca, C. pasto, D. piedra-helechos).

4.2.3. Procesamiento, manejo e identificación de muestras colectadas

Las muestras colectadas manualmente fueron fijadas en frascos con alcohol al 70% debidamente rotulados, indicando el código de muestra, sitio de captura (localidad, hábitat, transecto), técnica de captura y fecha; al tiempo que se incluyeron etiquetas en su interior con la misma información. Estas fueron enviadas al laboratorio Aracnología de la Universidad Nacional de Colombia, donde se efectuaron las determinaciones taxonómicas por parte de

especialistas aracnólogos y entomólogos; equipo coordinado por el profesor Eduardo Florez (Profesor Asociado y Coordinador de Colecciones Zoológicas, UNAL). Dicha determinación fue realizada hasta el taxón de género y algunos ejemplares hasta especie, para el caso de hormigas y algunas termitas; hasta subfamilia para el caso de grillos y algunos coleópteros; y familia para el resto de los grupos.

4.2.4. Composición trófica de la artropofauna edáfica

Este ítem estuvo determinado por la presencia–ausencia de especies pertenecientes a un mismo gremio trófico, de acuerdo con la información teórica obtenida mediante la revisión de la literatura, basada en el comportamiento trófico (observaciones de hábitos alimenticios en campo) y las características morfológicas del aparato bucal que naturalmente presentan los organismos pertenecientes a cada grupo taxonómico (género para hormigas, subfamilia para ortópteros y familia para el resto de los grupos).

Cada especie se asignó a un grupo funcional basado en categorías tróficas: fitófagos, depredadores, detritívoros, micófagos y omnívoros dependiendo del tipo de alimentación principal del adulto; si esta corresponde a plantas, animales, restos orgánicos u hongos y se definieron según Zerbino (2005):

- **Fitófagos:** incluye a todas las especies que consumen y explotan tejidos vegetales (follaje, raíces) y subproductos vegetales (néctar y polen).
- **Depredadores:** se incluye a todas las especies que se alimenten de otros animales, ya sea en su estado adulto o para alimentar a sus estados inmaduros.
- **Micófagos:** incluye a todas las especies que consumen hongos.
- **Detritívoros:** se incluye a las especies que se alimentan de restos vegetales y/o animales en descomposición.
- **Omnívoros:** por su parte, incluyen en su dieta amplia variedad de recursos tróficos

El gremio trófico asignado a cada individuo dependió de los hábitos alimenticios de la mayoría de los integrantes de la familia a la que pertenecen, o en un nivel más específico, de los géneros, según las referencias bibliográficas consultadas, tales como las de Medina-Cavarria (2017), Aguirre-S. y Barranco (2015), Brandão et al. (2015), Herrera (2015), Pascual (2015), Perez et al. (2015), Bach et al. (2015), Khaghaninia y Namaki (2015), Tolrá (2015), Zaragoza et al. (2015), Zaragoza-Caballero y Perez-hernandez (2014), Micó et al. (2013), Kolcsár et al. (2013), García-Lopez et al. (2013), Calero et al. (2011), Trindade y De Sousa (2010), Wilkie et al. (2010), Gil-O. et al. (2010), Rivero y Hernández (2009), Jiménez-Ferbans, Amat-García (2009), Ibáñez-Bernal et al. (2004), Silvestre et al. (2003), Tomberlin et al. (2002), Byrd y Castner (2001), Delabi (2000), Artigas (1994), Zúñiga et al. (1986), Grassé (1984) y Borror y Delong (1964) y otros (anexo 3).

4.2.5. Análisis de los datos

A nivel de la matriz del paisaje en general y a nivel de cada hábitat de estudios se realizó una predicción de la riqueza de morfoespecies, a través de curvas de acumulación, basadas en técnicas conjuntas de rarefacción y extrapolación, con relación al enlace (Coverage) del muestreo, el cual es definido por la proporción del número total de individuos, que pertenecen a las especies de la muestra de cada elemento (Chao & Jost, 2012). Una forma de interpretar este análisis, es evaluar si existe déficit en el muestreo, al restar del porcentaje posible de especies (100%), el alcance observado del muestreo (100-alcance del muestreo). Este porcentaje representa la probabilidad de que al registrar un nuevo individuo, éste pertenezca a una especie que no se halló previamente (Chao & Jost, 2012).

Para efectuar este análisis se realizaron curvas de acumulación de especies (rarefacción y extrapolación) para cada hábitat de estudio, con relación al valor

máximo del alcance del muestreo, que corresponde al doble del menor número de individuos en las muestras (Chao & Jost, 2012). Luego se estimó el alcance de los muestreos en cada elemento, a través de la rarefacción y la extrapolación y finalmente se seleccionó el menor valor del alcance del muestreo, como el valor base para obtener la riqueza de morfoespecies en cada elemento del paisaje. Se construyeron intervalos de confianza del 95% para la riqueza esperada a través de 100 aleatorizaciones mediante el método Bootstrap (Bootstrapping, Chao & Jost, 2012). Los gráficos, las estimaciones y los intervalos de confianza (95%) se realizaron usando el software iNEXT (Chao et al., 2016).

Posteriormente, se procedió calcular para cada comunidad de artrópodos edáficos en las minas y el bosque de referencia, los índices de diversidad de Shannon (Colwell 2013), así como también los índices de equitatividad de Pielou y de dominancia de Simpson (Villareal et al. 2004). Asumiendo que dichos escenarios tienen temporalidades y características visiblemente diferentes, se realizaron Análisis de Varianza (ANOVAs) (Balzarini et al 2008), de una vía tanto para los valores promedio de la riqueza, la abundancia y la diversidad de Shannon-Wiener, tomando los tres como variables dependientes; y como variables independientes los hábitats con diferentes temporalidades del disturbio minero (con cuatro niveles; de 5-10 años, de 15-20 años, más de 30 años y Referencia). Las comparaciones post-hoc de los promedios se realizaron utilizando el método LSD de Fisher.

La similitud de grupos entre áreas se estimó mediante los índices de Jaccard (Villarreal et al. 2004) que relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas. Mientras que el recambio de grupos se calculó mediante el índice de Whittaker calculado a partir de la presencia-ausencia de las especies en un conjunto de muestras, contrasta el promedio del número de especies por muestra versus el número total de especies

(Villarreal et al. 2004). Para calcular dichos índices se utilizó el programa PAST 3.05 (Hammer et al. 2001).

El peso ecológico de las especies en cada sistema fue calculado con el Índice de Valor de Importancia Ecológica Simplificado (IVIS) (Ramírez, 2006). Este índice se estimó, para cada especie, sumando la abundancia relativa de cada especie (abundancia absoluta de la especie dividida por la suma de las abundancias absolutas de todas las especies) con su correspondiente frecuencia relativa (frecuencia absoluta de la especie dividida entre el sumatorio de todas las frecuencias absolutas de las especies) así: $IVIS = [abundancia\ relativa + frecuencia\ relativa]$. La abundancia absoluta para cada especie se calculó como la suma de todos los individuos de una especie encontrados y la frecuencia absoluta se calculó como la suma del número de muestreos de cada sistema donde se halló la especie (Ramírez 2006, Villareal et al. 2006).

Para determinar los gremios tróficos presentes en cada hábitat se calculó la riqueza y la abundancia. La riqueza de morfoespecies por gremio fue calculada teniendo en cuenta el número total de morfos pertenecientes a un mismo gremio y la abundancia relativa de los gremios tróficos fue calculada como la abundancia absoluta de los morfoespecies pertenecientes a cada gremio dividida por la suma de las abundancias absolutas de todos los morfos de cada gremios. Para determinar si la riqueza de morfoespecies por gremio trófico entre los diferentes hábitats muestreados presentó diferencias significativas, se aplicó una prueba de Kruskal Wallis.

5. RESULTADOS

5.1. Estructura y composición de la comunidad de artrópodos edáficos de áreas con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero

5.1.1. Composición taxonómica de la comunidad de artrópodos edáficos

A nivel general la comunidad de artrópodos edáficos de áreas con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero en Jigualito estuvo representada por 6.207 individuos en 2.5 ha, los cuales estuvieron distribuidos en 2 clases, 11 órdenes, 77 familias y 231 morfoespecies (anexo 2).

Los órdenes Hymenoptera y Coleóptera se destacaron como los más ricos en número de morfos (93 y 45 respectivamente), mientras que los órdenes Archaeognatha e Isoptera presentaron la menor riqueza, obteniéndose solo 1 y 2 morfos respectivamente. El orden con mayor abundancia fue Hymenoptera con el 61% de los individuos registrados en toda el área de estudio.

Las familias Formicidae (3750), Termitidae (957), Gryllidae (393), Curculionidae (155) y Phoridae (128) presentaron las mayores abundancias. Formicidae fue la familia con mayor número de morfoespecies en todos los hábitats (41) y la mayor abundancia (60%), mientras que las familias Ceratopogonidae y Emaniidae presentaron los menores valores de abundancia en toda el área de estudio con 1 individuo cada una.

5.1.2. Cobertura del muestreo y riqueza-abundancia estimada de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono, tras el aprovechamiento minero.

Mina de 5 a 10 años: En este hábitat se registró el 32% (1.981) de los individuos pertenecientes a 64 morfos y 26 familias. Dicha riqueza constituyó la más baja del área de estudio. Adicionalmente, se encontró la mayor abundancia de hormigas (79%) de los 3.750 individuos registrados para toda el área de estudio. En este hábitat las curvas de rarefacción- extrapolación muestran que el muestreo abarcó la totalidad de la artropofauna presente en la matriz (100%) de estudio. El resultado anterior es corroborado al revisar la riqueza estimada con base en el alcance del muestreo (valor base 100%), ya que esta desestima la aparición de especies adicionales a las observadas durante los muestreos (figura 4).

Mina de 15 a 20 años: Para la matriz de 15 a 20 años se registró el 25% (1.553) de los individuos pertenecientes a 84 morfos y 34 familias. En este hábitat se logró obtener el mayor número de individuos de isópteros (25%), siendo este el segundo orden más abundante en todo el área de estudio (1.029 individuos). Para esta matriz las curvas de rarefacción- extrapolación muestran que los muestreos incluyeron una alta proporción de la artropofauna que alberga la mina 15-20 años con el 98% (figura 7A), presentando un déficit de muestreo de solo un 2%. (figura 4).

Mina con más de 30 años: en esta matriz se registró el 16% (1.035) de los individuos, pertenecientes a 123 morfos y 51 familias. En este hábitat se obtuvo la mayor riqueza de morfos de Himenopteros (54). Las curvas de rarefacción- extrapolación muestran que el muestreo abarcó la totalidad de la artropofauna presente en la matriz de estudio (100%). El resultado anterior es corroborado al revisar la riqueza estimada con base en el alcance del muestreo (valor base 100%), ya que esta desestima la aparición de especies adicionales a las observadas durante los muestreos (figura 4).

Hábitat de referencia: Para el hábitat de referencia se registró el 26% (1.638) de los individuos pertenecientes a 133 morfos y 51 familias. Esta constituyó el hábitat con mayores valores de riqueza de artrópodos edáficos. En este hábitat el orden Coleoptera presentó su mayor valor de riqueza de familias (13) y de morfos (31). Las curvas de rarefacción- extrapolación muestran que el muestreo abarcó la totalidad de la artropofauna presente en la matriz de estudio (100%). El resultado anterior es corroborado al revisar la riqueza estimada con base en el alcance del muestreo (valor base 100%), ya que esta desestima la aparición de especies adicionales a las observadas durante los muestreos (figura 4).

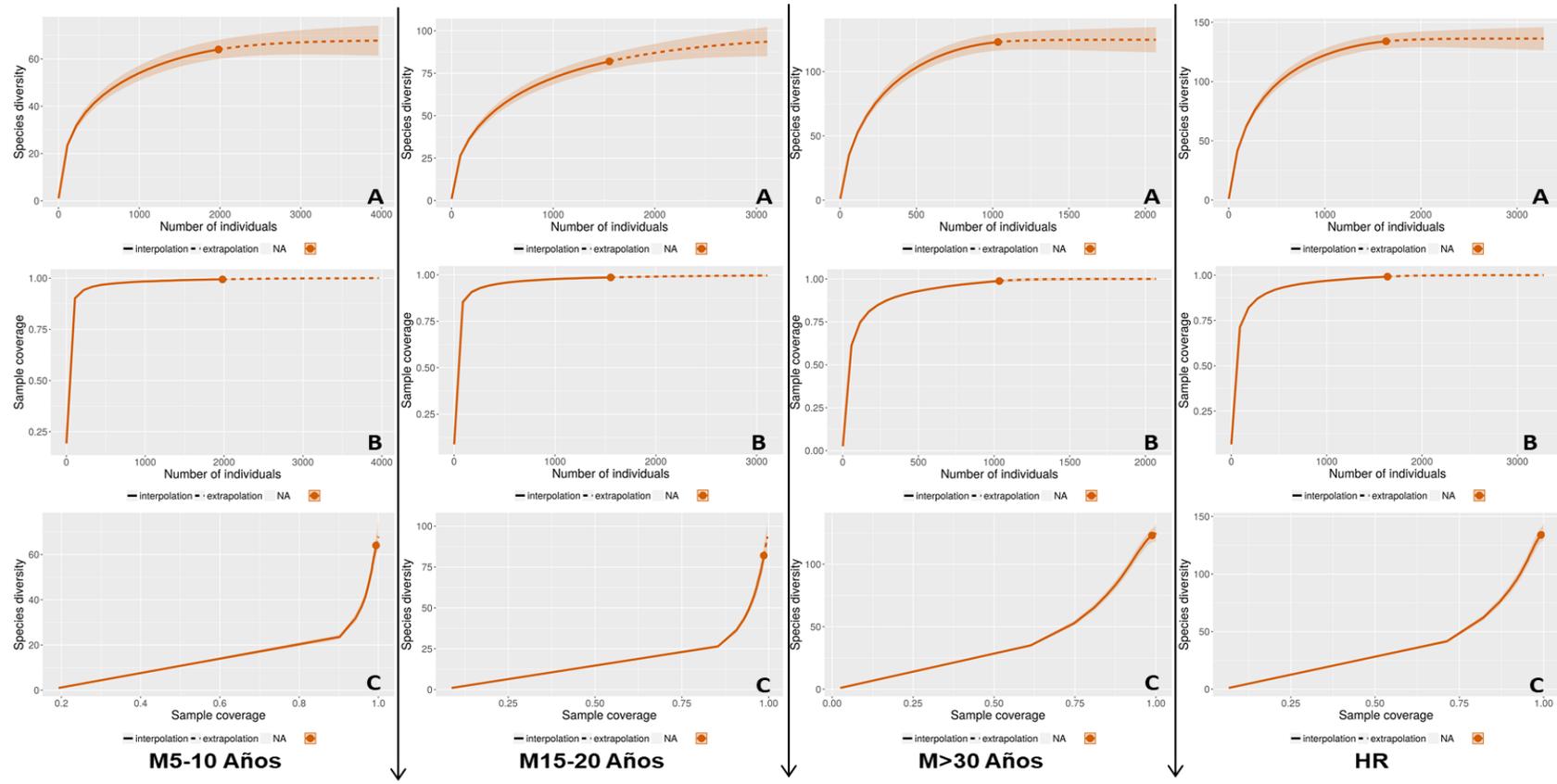


Figura 4. Análisis de coverage donde: (a) rarefacción basada en el tamaño de la muestra (línea continua) y extrapolación (línea discontinua), de la riqueza de artrópodos. Los puntos indican las muestras de referencia. (b) alcance del muestreo como una función del doble del tamaño de referencia, para muestras por rarefacción (línea sólida) y extrapoladas (línea punteada). (c) rarefacción (línea continua) y extrapolación (línea discontinua). Las sombras corresponden a los intervalos de confianza de 95% en cada una de las curvas

5.1.3. Estructura de la comunidad de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero.

El análisis de la riqueza reveló que existe diferencia significativa entre los hábitats ($P = 0.0266$). De acuerdo a la prueba de LSD de Fisher se observa que la diferencia se presenta entre el hábitat de referencia y $M > 30$ años ($P > 0.05$) en comparación los otros hábitats ($P < 0.05$). La abundancia no presentó diferencias estadísticamente significativas entre ambientes.

La diversidad de la comunidad de artrópodos edáficos presentó diferencias estadísticamente significativas entre los hábitats de estudio ($P = 0.0008$), mostrando mayor diversidad en $M > 30$ años con un valor de $H = 4.116$, mientras que $M 5-10$ años presentó los valores de diversidad más bajos con $H = 2.501$. La dominancia ($P = 0.0245$) y la equitatividad ($P = 0.004$) también presentaron diferencias estadísticamente significativas entre $M 5-10$ años y los demás hábitats, expresándose como el hábitat con el mayor valor de dominancia ($E = 2.501$) y con la menor equitatividad ($E = 0.6014$) (figura 5).

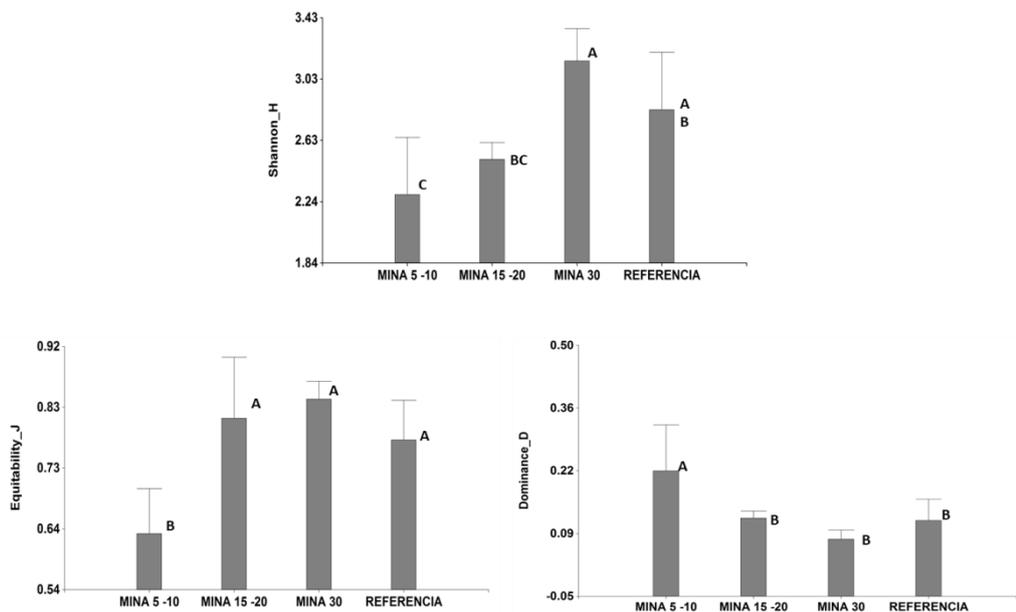


Figura 5. Diversidad, dominancia y equitatividad entre hábitats. La barra indica la desviación estándar y los puntos indican el promedio. Las letras iguales indican afinidades en la prueba de LSD de Fisher.

El índice de similitud (valor más alto de similaridad entre par de biotas), muestra que la mina con más de 30 años y el hábitat de referencia, presentaron la mayor similitud con un 35%, seguido por la mina 15-20 años y el hábitat de referencia, así como la mina 5-10 años y la mina 15-20 años con el 27% para ambos casos; las minas 5-10 años y de más de 30 años, por su parte, presentaron el 21%; mientras que el menor valor de similitud lo obtuvieron la mina 5-10 años y el hábitat de referencia con el 19% (figura 6).

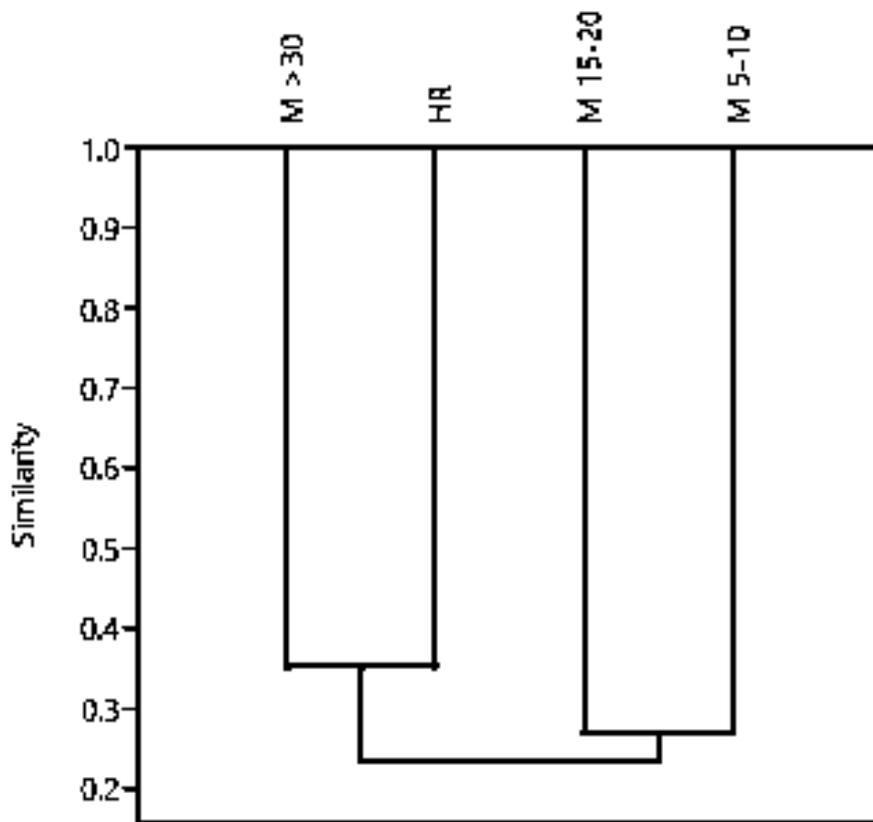


Figura 6. Dendrograma de similitud de la artropofauna edáfica en los distintos hábitats de estudio, a partir del índice de Jaccard.

Por otra parte, el índice de Whittaker permitió evidenciar mayor recambio de especies entre el hábitat de referencia y la mina de 5-10 años en un 67%,

logrando establecer diferencias notables entre el área de sucesión temprana con respecto al bosque de referencia (tabla 2).

Tabla 1. Recambio de especies empleando el índice de Whittaker

Hábitats	M 5-10	M 15-20	M >30	HR
M 5-10	0	0,57534	0,64706	0,67677
M 15-20		0	0,59024	0,57407
M >30			0	0,4786
HR				0

5.1.4. Importancia ecológica de los grupos taxonómicos (morfoespecies)

El valor de importancia ecológica de las morfoespecies giró en torno a la frecuencia relativa con que fueron observadas durante los muestreos y a la abundancia relativa que presentaron. La mayor parte de estas especies correspondió a termitas y hormigas más frecuentemente registradas en cada área; estas últimas fueron observadas formando colonias bajo y sobre la hojarasca y en ocasiones cargando materia orgánica fraccionada. Morfoespecies pertenecientes a géneros como *Nasutitermes*, *Pheidole* y *Atta (cephalotes)*, presentaron relevantes valores de importancia en todos los hábitats, mostrándose como especies dominantes aún en ambientes intervenidos; no obstante, en el hábitat de referencia se encontraron especies pertenecientes a otros grupos taxonómicos como grillos (Gryllinae y Eneopterinae) y coleópteros (Entomobryidae y Scolytinae) con importantes valores de IVIs.

En la tabla 3 se muestran los valores de IVIs, abundancia y frecuencia relativas, que permitieron identificar las morfoespecies más con mayor importancia ecológica en cada microhábitat los grupos taxonómicos.

Tabla 2. Importancia ecológica de las morfoespecies en cada hábitat en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia. Valores de IVIs, abundancia y frecuencia relativas.

ESPECIE	Mina 5-10					Mina 15-20					Mina > 30					BR					Total IVIs	
	A	AR	F	FR	IVI	A	AR	F	FR	IVI	A	AR	F	FR	IVI	A	AR	F	FR	IVI		
<i>Nasutitermes sp.</i>	189	0,10	3	0,03	0,12	345	0,22	3	0,02	0,24	71	0,07	4	0,02	0,08	352	0,21	6	0,02	0,24	0,68	
<i>Dorymyrmex sp.1</i>	812	0,41	3	0,03	0,44																	0,44
<i>Atta cephalotes</i>						144	0,09	6	0,04	0,13	55	0,05	4	0,02	0,07	39	0,02	2	0,01	0,03	0,23	
<i>Camponotus sp.1</i>	114	0,06	3	0,03	0,08	155	0,10	3	0,02	0,12												0,20
<i>Solenopsis sp.4</i>	115	0,06	3	0,03	0,08	105	0,07	5	0,03	0,10												0,18
<i>Pheidole sp.1</i>											55	0,05	5	0,02	0,07	87	0,05	3	0,01	0,06		0,14
<i>Odontomachus sp.1</i>						50	0,03	6	0,04	0,07	39	0,04	4	0,02	0,05							0,12
Eneopterinae sp.1																159	0,10	3	0,01	0,11		0,11
<i>Azteca sp.2</i>						122	0,08	2	0,01	0,09												0,09
Gryllinae sp.2	110	0,06	3	0,03	0,08																	0,08
<i>Pheidole sp.2</i>	108	0,05	3	0,03	0,08																	0,08
<i>Azteca sp.1</i>											54	0,05	4	0,02	0,07							0,07
Entomobryidae sp.1																57	0,03	4	0,02	0,05		0,05
<i>Megalomyrmex sp.1</i>											32	0,03	5	0,02	0,05							0,05
Scolytinae sp.2																39	0,02	4	0,02	0,04		0,04

5.2. Funcionalidad de la comunidad de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero.

5.2.1. Composición de grupos tróficos de artrópodos edáficos

A nivel general, se encontraron seis grupos tróficos, donde el mejor representado a nivel de riqueza y abundancia relativa correspondió a omnívoros con 81 morfoespecies y el 53% (3.309) de los individuos. El grupo menos representativo en cuanto a la riqueza y abundancia relativa fue parásitos con 7 morfoespecies y el 0.3% (23) de los individuos. Formicidae fue la familia con mayor número de morfos (44) y de individuos (1.857) con hábito omnívoro en todos los hábitats

Los omnívoros estuvieron representados por opiliones, himenópteros, bláttidos, dermápteros y ortópteros. Parásitos por su parte, estuvo conformado por dípteros e himenópteros (anexo 3).

5.2.2. Riqueza y abundancia de gremios tróficos en diferentes hábitats

Mina de 5 a 10 años: en este hábitat el grupo con la mayor riqueza de morfoespecies y abundancia relativa correspondió a omnívoros con 25 morfos y el 78% (1.550) de los individuos, siendo el porcentaje de abundancia más alto con relación a los demás hábitats.

Mina de 15 a 20 años: en este hábitat el grupo con los mayores valores de riqueza de morfoespecies y abundancia relativa correspondió a omnívoros con 35 morfos y el 48% (750) de los individuos,

Mina con más de 30 años: al igual que en los hábitats anteriormente descritos, en esta mina omnívoros fue el gremio con los mayores valores tanto de riqueza de morfoespecies como de abundancia relativa, con 47 morfos y el 42% (436) de los individuos.

Hábitat de referencia: en este hábitat la mayor riqueza la obtuvo el gremio omnívoros con 48 morfoespecies, siendo el gremio con mayor número de morfos con respecto a los demás hábitats; mientras que la abundancia relativa estuvo representada por los gremios omnívoros y detritívoros, con el 35% (573) y el 34% (559) respectivamente.

El comportamiento de la riqueza de los gremios omnívoros, detritívoros, fitófagos y depredadores presenta una tendencia a incrementar a medida que aumenta el tiempo de abandono de las minas; mientras que la abundancia sólo refleja este patrón para el gremio de depredadores. Omnívoros por su parte, muestra una tendencia a disminuir al incrementar la edad de abandono de las minas (figura 7).

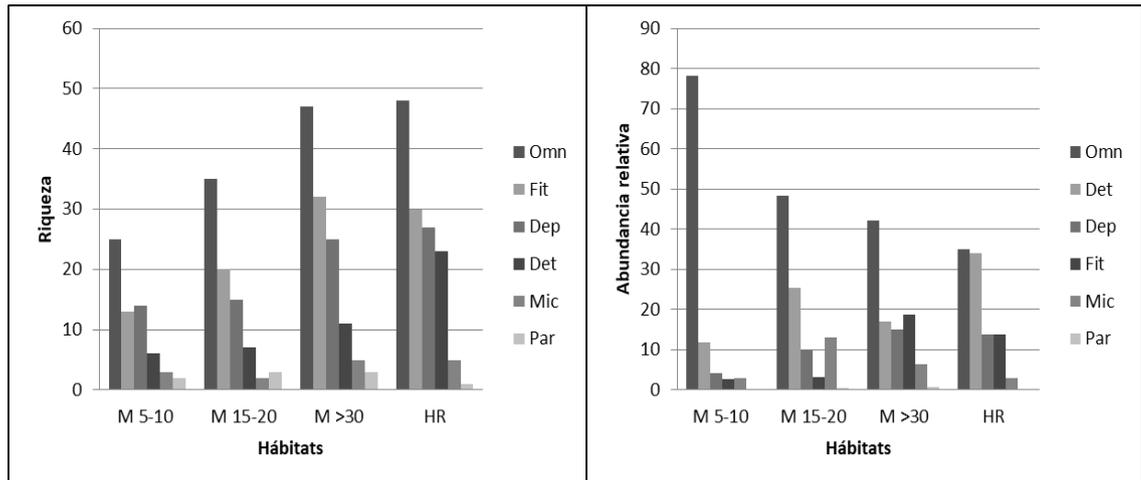


Figura 7. Grupos tróficos por hábitats, con base en la riqueza de especies (izquierda) y en la abundancia relativa (derecha). Dep (depredador), Det (detritívoro), Fit (fitófago), Omn (omnívoro), Mic (micófago), Par (parásitos).

Mediante una prueba de Kruskal Wallis se identificó que existe diferencia significativa en la riqueza de los gremios tróficos entre los diferentes hábitats muestreados ($p = 0.0125$), donde dicha diferencia está siendo determinada por los valores arrojados por el gremio depredadores. Seguidamente, el análisis de comparación evidencia que las diferencias se dieron entre M15-20 años y los hábitats M>30 y referencia.

6. DISCUSIÓN

6.1.1. Estructura de la comunidad de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero.

Esta investigación arrojó considerables valores de riqueza entre los grupos, con una importante representatividad de órdenes como Hymenoptera y Coleoptera en términos de riqueza y con gran abundancia de familias como Formicidae y Termitidae. Estos resultados son similares a los reportados por González y Herrera (1983), López et al. (1986), González y López (1987), Prieto y

Rodríguez (1996) y Montero et al. (2011), quienes estudiaron la macrofauna en ecosistemas boscosos de Cuba y Argentina, y mostraron Resultados con una alta riqueza de artrópodos, con predominio de Hymenoptera (Formicidae) y Coleoptera; al tiempo que Zerbino et al. (2008), Cordero (2008), Cabrera et al. (2011) y Gomez (2016), estudiaron la macrofauna en suelos con distintos tipos de perturbaciones (monocultivos y policultivos, ganadería e incendios) en Uruguay, Chile, Cuba y Argentina y reportaron los órdenes Hymenoptera (Formicidae), Coleoptera e Isoptera como las unidades taxonómicas de la macrofauna, dominantes en densidad y en biomasa, en la mayoría de los usos de la tierra estudiados. Lo anterior permite deducir que los grupos con gran predominio en este estudio presentan gran capacidad para dispersarse y colonizar distintos ambientes.

La representatividad de los Hymenópteros estuvo dada por la alta riqueza y abundancia de formícidos, los cuales fueron predominantes en todos los hábitats. Este comportamiento se atribuye a que además de ser el grupo más diversificado en los ecosistemas, presentan gran capacidad para adaptarse a diversos ambientes, logrando ocupar la amplia variedad de microhábitats y recursos disponibles en estos suelos, lo que permite que allí se establezcan diferentes colonias. Según Rojas (2001), este grupo de artrópodos explora diversos ambientes desde el subsuelo hasta las copas de los árboles, sin embargo, son habitantes del suelo donde la mayoría de las especies vive en nidos subterráneos, en la hojarasca o en la madera en descomposición depositada en el suelo.

La abundancia de formícidos fue alta en todos los hábitats, siendo el grupo más notable a nivel general, observándose colonias enteras desplazándose sobre la hojarasca o habitando bajo la misma. Al respecto Fragoso y Lavelle (1992) y Camacho (1995), argumentan que las hormigas están siempre entre los grupos más abundantes y diversos y que en los suelos de selvas tropicales

generalmente ocupan el segundo lugar en abundancia, siendo solo superadas por las termitas.

Los altos valores arrojados en el porcentaje del alcance del muestreo en los hábitats (registrando entre el 100% y el 98%), indican que la riqueza estuvo favorecida por factores como la simplificación en la estructura vegetal, permitiendo la cobertura del 98 al 100% en el muestreo de los hábitat de recuperación temprana, mientras que los valores del hábitat de referencia y la mina de 30 años de recuperación también se vieron favorecidos por un importante esfuerzo de muestreo. Sin embargo, el factor que posiblemente tuvo mayor influencia en la obtención de estos elevados porcentajes fue la aplicación de los dos período de muestreo, que incluyeron la aplicación de dos estrategias (período I: trampas y captura manual por transectos y período II: trampas y captura manual por microhábitat), lo cual permitió un completo barrido de los hábitats y por consiguiente un registro completo de la estructura de la comunidad estudiada.

La diferencia en los valores de riqueza, diversidad, equitatividad y la dominancia de las comunidades de artrópodos entre los ambientes evaluados, evidencian que el tiempo de abandono de las minas afecta la estructura biológica de la comunidad de artrópodos, cuyos valores incrementan a medida que aumenta el tiempo de abandono. Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con los de Cabrera et al. (2011), quienes encontraron los mayores valores de riqueza, densidad y biomasa de la macrofauna en bosques y menores valores en pastizales, cultivos y cañaverales en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Guillén et al. (2006) compararon áreas con bosque natural y áreas intervenidas en Costa Rica y encontraron mayor diversidad de artrópodos en parches de bosque sin intervención que en zonas intervenidas; Álvarez-Duarte y Barrera-Cataño (2007) compararon la abundancia y composición del ensamblaje de coleópteros en la cantera Soratama, Bogotá, la cual presenta áreas con diferente condición de abandono, obteniendo la mayor abundancia (409) y diversidad en el bosque adyacente,

mientras que los valores más bajos se registraron en la zona descapotada (55), además encontraron diferencias significativas en la composición del ensamblaje entre las áreas, debido a la complejidad estructural de la vegetación y a las condiciones microclimáticas que estos hábitats proporcionan a las especies.

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que la mayor diversidad de artrópodos edáficos se presentó en la mina con más de 30 años sin embargo, se esperaba que en el hábitat de referencia se hallaran los mayores valores de diversidad por presentar las características de un bosque nativo, cuyo suelo no ha sufrido este tipo de alteraciones; no obstante, estos datos sugieren que en $M > 30$ años pueden estar ocurriendo procesos e interacciones similares a las que se presentan en un ecotono, donde se combinan condiciones aún adversas, propias de áreas con este tipo de disturbio y se encuentran especies tolerantes y generalistas, así como también se hayan elementos que a través del tiempo han permitido la producción de oferta trófica y habitacional y con ello la llegada de especies sensibles a los cambios, o poco tolerantes como es el caso de muchas especies de coleópteros y algunas hormigas. Este suceso es corroborado por Escribano et al. (1997) y Fierro et al. (2011), quienes argumentan que la composición faunística y florística de un ecotono es mayor que la suma parcial de los componentes de las comunidades adyacentes, lo cual, en sí mismo, implica ya un incremento en la riqueza y biodiversidad. No obstante, este no es un ecosistema estático, puede variar a lo largo del tiempo como consecuencia del proceso natural de sucesión vegetal o como respuesta a un cambio en condiciones ambientales que impliquen la desaparición de las comunidades vegetales o animales que caracterizaban o definían el ecotono (Escribano et al. 1997). Adicionalmente, es importante mencionar la definición de ecotono dada por Holland (1991), quien aduce que esta es una zona de transición entre dos sistemas ecológicos adyacentes y que tiene una serie de características únicamente definidas por escalas de tiempo y espacio, y por las fuerzas de unión entre los sistemas ecológicos que limita.

Las minas se encuentran cercanas a bosques adyacentes, lo que facilita el intercambio de organismos que las transitan y que encuentran allí recursos óptimos para establecerse, como en el caso de M>30años, donde elementos como la hojarasca, ramas caídas, así como la presencia de especies arbóreas y arbustivas facilitan la llegada de diversas especies con distintos requerimientos ecológicos, lo que indica la ocurrencia de una estructura más compleja que las de M15-20 años y M5-10 años. Lo anterior concuerda con las afirmaciones de Fragoso y Lavelle (1992) y Cabrera et al. (2011) quienes consideran que la variabilidad florística, la heterogeneidad y la cobertura proveen un aporte importante de hojarasca y sombra para mantener estables los valores de temperatura y humedad en el suelo, al tiempo que suministran fuentes de alimento y refugio necesarios, lo cual favorece el desarrollo de comunidades de artrópodos más diversas. Lo anterior es confirmado también por Granados y Barrera (2007) quienes encontraron mayor número de especies, géneros y familias en relictos de bosque en comparación con las áreas sin cobertura arbórea y, de modo general, concluyeron que las áreas con mayor diversidad y riqueza de plantas y un porcentaje más alto de cobertura pueden manifestar una mayor diversidad de la macrofauna del suelo.

Valois (2016) por su parte, realiza un estudio florístico en áreas con diferentes edades de abandono tras la explotación minera y en una comunidad de referencia (bosque adyacente) en el Chocó, concluyendo que la riqueza de familias, géneros y especies no difieren significativamente con la edad de las minas pero sí con respecto a la comunidad de referencia donde alcanzan los máximos valores, y la diversidad parece presentar una tendencia creciente con la edad de abandono, siendo máxima en el bosque de referencia. Al relacionar dichos resultados con los obtenidos en el presente estudio se deduce que la ocurrencia de una alta y variada oferta de elementos florísticos, así como una amplia cobertura, pueden estar favoreciendo una considerable presencia de artrópodos que de esta dependen para el desarrollo de sus funciones y el mantenimiento de sus poblaciones, presentando incremento en la riqueza,

abundancia y diversidad en áreas con etapa de sucesión tardía; un ejemplo de ello, es la importante riqueza de hormigas encontradas en la mina con más de 30 años y en el hábitat de referencia, donde se encuentran especies con gran variedad de hábitos asociadas a componentes florísticos. Al respecto, Fierro et al. (2011) afirman que este grupo, presenta 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.

El hecho de que la mina con más de 30 años presentara una notable similitud en cuanto a la presencia de las especies con el hábitat de referencia, evidencia que algunas de las características del ecosistema se han ido recuperando, lo que permite que se establezca una comunidad de artrópodos con ciertas exigencias ecológicas. Estos comparten 67 de las 231 especies registradas en todo el área de estudio, de las cuales se destaca el 40% (34 morfos) de las hormigas y el 26% (12 morfos) de los coleópteros registrados. algunos de los grupos compartidos con sensibles a las perturbaciones, como es el caso de los coleópteros, entre ellos los estafilínidos (cinco morfos compartidos). Al respecto, Ghandi et al., (2001) argumentan que este grupo se considera potenciales indicadores para entender los efectos ecológicos de las perturbaciones ambientales, debido a su relativa estabilidad taxonómica, la facilidad para capturarlos con trampas de caída y a que es conocida su sensibilidad a los cambios ambientales. Suárez (2015) por su parte, afirma que los estafilínidos son un grupo sensible a los cambios en el uso del suelo (entre estos la urbanización), debido a su especialización ecológica.

Gran parte de las especies compartidas entre las minas de 5-10 años y 15-20 años de recuperación, corresponde a hormigas con amplia diseminación y algunas presentan hábitos oportunistas y generalistas, como es el caso de los géneros *Crematogaster*, *Atta*, *Azteca*, *Camponotus*, *Dorymyrmex*, *Pheidole* y *Solenopsis*, los cuales son catalogadas por Silvestre et al. (2003) como géneros cosmopolitas que se presentan en diversos tipos de áreas.

Las especies con mayor índice de valor de importancia para los diferentes hábitats correspondieron a termitas y hormigas. Según Cabrera (2014), estos juegan un papel vital en el ecosistema como ingenieros, ya que participan en la fragmentación del material orgánico, en la formación del suelo y en la alimentación de otras poblaciones faunísticas; por lo que su notable abundancia, frecuencia y dominancia en estas áreas cumple un rol fundamental en el proceso de regeneración de ciertas propiedades del suelo. Adicionalmente, algunos de estos son organismos con comportamientos generalistas, pues logran habitar diferentes tipos de ecosistemas, colonizando hasta ambientes antrópicos, al punto de que algunas constituyen una plaga para el hombre; además no suelen presentar especificaciones tróficas; notándose que algunas especies de hormigas, suelen ser oportunistas, logrando adaptarse a los cambios dados en el ambiente. Al respecto Silvestre et al. (2003) afirman que estas especies construyen nidos en sitios diversificados y forrajean grandes áreas tanto en el suelo como en la vegetación. Otro factor que influyó en la alta frecuencia con que estas especies fueron encontradas durante los muestreos es el comportamiento de forrajeo que presentan la mayoría de estas hormigas, ya que se consideran patrulleras, por lo cual suelen ser muy conspicuas y fáciles de observar y capturar.

El género *Nasutitermes* fue registrado en todos los hábitats con importantes valores de frecuencia y abundancia relativas. Este género presentó su mayor abundancia tanto en el hábitat de referencia, como en M>30 años, donde se observó una gran cantidad de individuos desplazándose en el suelo y asociados a troncos en descomposición, lo cual evidencia su preferencia por áreas con considerable contenido de materia orgánica en descomposición. Al respecto Barros, Pashanasi, Constantino y Lavelle (2002) y Lavelle et al. (2003) mediante el índice de densidad lombrices/termitas, señalan a las termitas como organismos oportunistas y más resistentes a perturbaciones inducidas, cuya prevalencia indica hábitats menos conservados o con algún nivel de

degradación. Sin embargo, diversos autores plantean los cambios que sufren las comunidades de termitas; principalmente las especies húmicas que habitan en el suelo, a partir de la fragmentación, aislamiento y degradación de los hábitats (Bandeira et al. 2003); mientras que otros las señalan como las primeras colonizadoras en ambientes deforestados, con suficiente material leñoso remanente, en cuya descomposición estas intervienen (Cunha 2006). Lo anterior supone la gran importancia que tiene la presencia de materia orgánica, en especial material leñoso y humus, para las poblaciones de termitas, modificando así su abundancia y frecuencia en el área.

En el caso de *Dorymyrmex*, esta fue la especie más dominante y con mayor densidad en M5-10 años, mostrando una marcada preferencia por este tipo de ambiente. Lo anterior es corroborado por Silvestre et al. (2003), quien argumenta que esta especie construye sus nidos en el suelo, en regiones áridas o semiáridas, prefiriendo los lugares abiertos, de escasa vegetación, donde son dominantes desde el punto de vista ecológico.

Pheidole y *Solenopsis* por su parte, se presentaron en todos los hábitats, siendo la primera, la más registrada en M>30 años y la segunda presentó importantes valores de abundancia en M15-20 años. Estas son categorizadas por Silvestre et al. (2003) como especies dominantes omnívoras del suelo y suelen construir nidos subterráneos, con colonias grandes, reclutan masivamente y son agresivas en interacciones interespecíficas y generalistas en la selección de los alimentos. Estos autores también afirman que dichas especies tienen alta preferencia por ambientes perturbados.

En el caso de *A. cephalotes* (hormiga arriera), fue una de las especies con mayor frecuencia y abundancia relativas en todos los hábitats. Según Fowler et al. (1990) esta constituye uno de los grupos de insectos con mayor dispersión geográfica, adaptabilidad y éxito evolutivo en el Neotrópico; especialmente en Suramérica (Schultz 1999), por lo que es común encontrarlas colonizando distintos ambientes y en grandes abundancias; constituyendo a menudo una

especie plaga en cultivos de importancia económica. Por otro lado el hecho de encontrarlas con gran dominancia en este tipo de ambientes está muy relacionado con la baja presencia de depredadores, tal como lo argumentan Silvestre et al. (2003) la disminución de sus predadores naturales (aves, reptiles y anfibios), por la deforestación y apertura de áreas para plantaciones favorece la diseminación de esta especie.

6.2. Funcionalidad de la comunidad de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero.

La presencia de artrópodos omnívoros muestra la ocurrencia de organismos que pueden explorar distintos recursos y que no presentan una dependencia estricta de ninguna fuente nutritiva. En este grupo predominaron los formícidos, cuya relevante riqueza de morfos y abundancia en el área es posiblemente la respuesta adaptativa a procesos de recuperación de los elementos naturales del ambiente, encontrándose múltiples géneros con alta tolerancia a las condiciones ambientales, tales como lo son *Pheidole*, *Solenopsis*, *Dorymyrmex*, *Camponotus*, *Azteca*, entre otras. Silvestre et al. (2003) agrupan muchas de estas hormigas en diferentes gremios, teniendo en cuenta sus estrategias para obtener alimento, como son las “*Dominantes omnívoras del suelo*” que construyen nidos subterráneos con colonias grandes, e incluyen especies de *Pheidole* y *Solenopsis* que pueden estar siendo favorecidas en ambientes perturbados, donde ocasionalmente construyen nidos poco profundos en áreas de gran estrés ambiental; las “*Patrulleras generalistas*” donde incluyen especies del género *Camponotus*, cuya amplitud puede estar relacionada con la cantidad de troncos en estado de pudrimiento dentro del bosque o con la biomasa vegetal; y las “*Arbóreas pequeñas de reclutamiento masivo*” que incluyen especies del género *Azteca*.

Los mayores valores de riqueza específica de omnívoros se presentaron en el hábitat de referencia y en M>30 años con 48 y 47 morfoespecies respectivamente. Este resultado se atribuye a la variedad de microambientes y de recursos que sirven como hábitat y alimento para la sobrevivencia de una considerable diversidad de artrópodos pertenecientes a este grupo trófico, los cuales aprovechan dichos recursos de manera generalista, disminuyendo posiblemente la competencia por los mismos. Al respecto, Silvestre et al. (2003) argumentan que los efectos de la competencia dentro de los gremios se minimizan por la oferta de recursos y por la plasticidad de las estrategias comportamentales adoptadas por cada especie, evitando los encuentros agonísticos.

La alta abundancia de omnívoros en M5-10 años (78%) se atribuye a la dominancia del género *Dorymyrmex*, cuya presencia fue registrada en todos los microhábitats de esta mina, formando colonias, cerca de nidos y patrullando. La discusión sobre su alto porcentaje de abundancia fue expuesta en el capítulo de composición taxonómica y estructura de la comunidad de artrópodos edáficos.

En general, la predominante ocurrencia del gremio omnívoros en las minas sugiere la presencia potencial de especies pioneras, las cuales posiblemente disminuyen o desaparecen a medida que transcurre el tiempo y que se vayan recuperando algunas de las propiedades originales del ambiente. Su ocurrencia en el ecosistema reviste de gran importancia, la cual radica en que se cubren varios nichos y se desarrollan diversos procesos ecológicos como la depredación, la descomposición, el reciclaje de nutrientes, entre otros, lo que contribuirá potencialmente con la restauración de las áreas.

Pese a su baja riqueza, los detritívoros presentaron importantes valores de abundancia, siendo uno de los grupos más importantes en el hábitat de referencia, mientras que en las minas, presentó un bajo número de individuos.

Su notable presencia en el hábitat de referencia se atribuye a la cantidad de materia orgánica contenida en el suelo, la cual presenta en sus capas interiores avanzado estado de degradación, en cuya transformación posiblemente han participado organismos como termitas, dípteros, algunos coleópteros y colémbolos. Lo anterior es corroborado por Cabrera (2012), quien argumenta que los artrópodos epígeos 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. Esta autora también afirma que los detritívoros constituyen uno de los grupos epígeos más expuestos en la superficie, presentando gran sensibilidad ante 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). Lo anterior justifica los bajos valores de abundancia de este grupo en los hábitats perturbados, donde debido a la poca cobertura vegetal y a los grandes claros, la superficie del suelo queda expuesta, limitando así su actividad. Por lo anterior, este grupo puede ser considerado un importante indicador del estado de perturbación del medio edáfico.

La presencia de depredadores varió de acuerdo a la temporalidad del hábitat, cuya riqueza y abundancia están estrechamente relacionadas con el grado de intervención del ecosistema, ya que dichos valores fueron mayores a medida que la afectación disminuye, encontrándose el menor número de especies y de individuos en M5-10 años y los mayores valores en M>30 años y en el hábitat de referencia. Al respecto Barbarena y Aide (2003) argumentan que la falta de recursos en áreas modificadas, en comparación con áreas naturales produce estas diferencias en la comunidad de coleópteros. Lo anterior sugiere que los coleópteros encontrados en este estudio pueden estar indicando el nivel de perturbación del área. Dentro de este gremio se registró variedad de himenópteros, hemípteros y coleópteros que contribuyen con el control de otras

poblaciones, así como también sirven de alimento para otros grupos; ubicándose en los últimos niveles de las cadenas tróficas del ecosistema.

Los resultados obtenidos en las áreas de sucesión temprana (M5-10 y M15-20 años de abandono), sugieren que las especies allí presentes constituyen la artropofauna edáfica pionera que permite el ingreso de otras especies y que de alguna manera inician los procesos de descomposición que se requieren para la formación de la capa orgánica. Adicionalmente, al comparar los resultados obtenidos en la mina de 5-10 años de abandono con el hábitat de referencia se evidencia la pérdida de riqueza de morfoespecies (el 52% de la riqueza natural), mostrando una notable desaparición de grupos taxonómicos y tróficos, en especial una importante riqueza de depredadores, detritívoros y fitófagos debido a los efectos (pérdida de cobertura vegetal, materia orgánica y ruptura de las cadenas tróficas complejas) ocasionados por la falta de manejo de las áreas tras el aprovechamiento minero.

La artropofauna edáfica encontrada en la mina de más de 30 años de abandono por su parte, evidencia la ocurrencia de un proceso de sucesión tardía que implica la presencia de mayor oferta de recursos, tanto para refugio como para alimento, lo que permite la llegada y establecimiento de grupos más especializados, con lo cual se supone el desarrollo de procesos ecológicos necesarios para el mantenimiento de la diversidad faunística del suelo, lo cual hace que se vayan recuperando sus propiedades funcionales; sin embargo, los cambios en la composición taxonómica fueron notables con respecto al hábitat de referencia, mostrando que las especies que naturalmente habitan estos bosques, luego de la actividad minera, requieren mucho más de 30 años para su posible recuperación.

En la figura 8 se ilustra mediante un esquema, lo que ocurre en los hábitats estudiados, teniendo en cuenta las características de cada sitio y los resultados obtenidos en el estudio, relacionados con la composición taxonómica y funcional. En este se ilustran las abundancias de los grupos tróficos y se

expresa la oferta de recursos que permiten la presencia de dichos grupos, las posibles interacciones ecológicas que ocurren en estos hábitats y los grupos taxonómicos relacionados con los gremios dominantes.

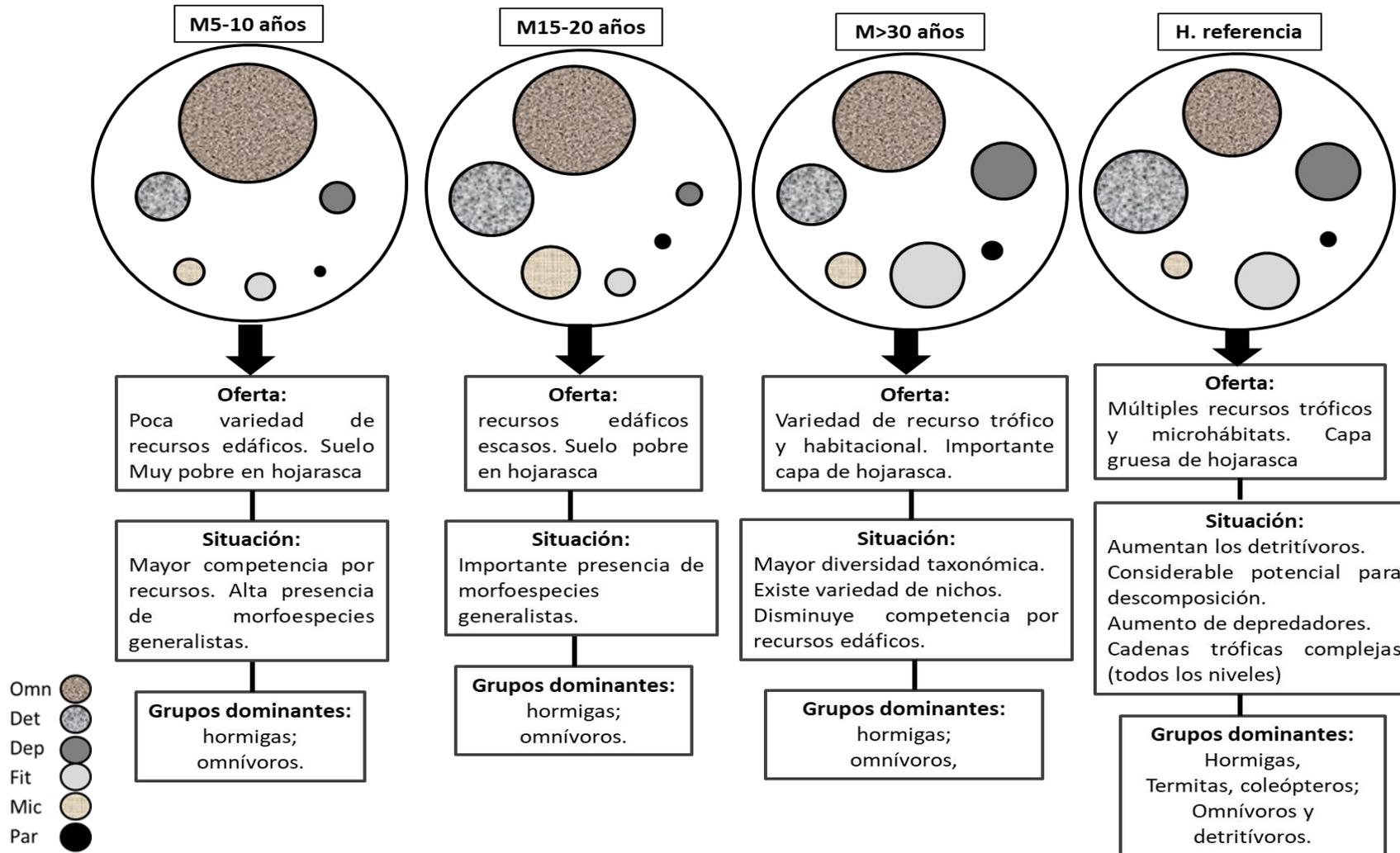


Figura 8 Esquema-Resumen de resultados generales (los círculos externos representan los hábitats de estudio, los internos representan los gremios tróficos, y el tamaño de estos relaciona la abundancia de cada gremio trófico)

7. CONCLUSIONES

- ❖ La diversidad de artrópodos edáficos varía notablemente como efecto de la edad de abandono de las minas; mostrando mayores valores en la mina con mayor tiempo. De la misma manera, se mostraron importantes cambios en la composición de especies, encontrándose la mayor diferencia entre el hábitat de referencia y la mina con menor tiempo de abandono; en esta última se evidenció que la mayor parte de las especies observadas presentan hábitos generalistas.
- ❖ La riqueza y abundancia de los diferentes gremios tróficos de la comunidad de artrópodos edáficos presentó una importante relación con el tiempo de abandono de las minas, evidenciando notables cambios a lo largo de los hábitats, dado que las áreas con menor tiempo de abandono presentaron menor potencial en la funcionalidad a nivel de gremios tróficos que el área de recuperación tardía y que el hábitat de referencia.
- ❖ Teniendo en cuenta la notable variación de la abundancia del gremio detritívoros a lo largo de las áreas, el cual alcanzó su mayor valor en el hábitat de referencia, lo que se atribuyó a la mayor concentración de materia orgánica en el suelo, destaca este gremio como un posible indicador de áreas perturbadas y como un grupo cuyo rol puede ser relevante en la restauración pasiva de suelos perturbados por la minería a cielo abierto.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar monitoreos en distintas épocas del año para comparar el comportamiento de la artropofauna edáfica en el área y analizar los cambios que pueden generar las variables ambientales en su composición, abundancia y funcionalidad.
- Se sugiere evaluar el rol del gremio detritívoro en la restauración pasiva de suelos degradados por la minería a cielo abierto.
- Esta investigación permitió identificar grupos potenciales de restauración, debido a sus estrategias ecológicas, a que pueden ser empleados como bioindicadores de perturbaciones y a sus funciones dentro del ecosistema, por lo que se sugiere valorar los grupos taxonómicos y tróficos destacados en este estudio, a fin de que sean tomados en cuenta en la implementación de estrategias de restauración de áreas degradadas por este tipo de actividades.

9. REFERENCIAS

Aguirre-Segura A y Barranco VP. 2015. Orden Orthoptera. Revista IDE@ - SEA, [Internet]. 46: 1-13. Fecha de acceso: 10 de mayo de 2017.
Disponible en: http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista_46.pdf

Álvarez-Duarte A. y Barrera-Cataño J.I. 2007. Estudio comparativo del ensamblaje de coleópteros en diferentes áreas de la cantera Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá. Revista de la Facultad de Ciencias, (12): 47-56.

Artigas J. 1994. Entomología económica: insectos de interés agrícola, forestal, médico y veterinario (nativos, introducidos y susceptibles de ser introducidos). Concepción: Universidad de Concepción. p. 1126.

Bach de Roca C, Molero BR, Gaju RM. 2015. Orden Microcoryphia. Revista IDE@ - SEA, [Internet]. 38: 1-12. Fecha de acceso: 10 de mayo de 2017.
Disponible en: http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista_38.pdf

Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW. 2008. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina. p.336.

Bandeira AG y Vasconcelos A. 2002. A quantitative survey of termites in a gradient of disturbed highland forest in northeastern Brazil (Isoptera). Sociobiology, 39:429.

Bandeira AG, Vasconcellos A, Silva MP, Constantino R. 2003. Effect of habitat disturbance on the termite fauna in a highland humid forest in the Caatinga domain, Brazil. Sociobiology, 42 (1): 117-127.

Barros E, Pashanasi B, Constantino R, Lavelle P. 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. Biol Fertil Soils, 35: 338–347.

- Barberena M y Aide T. 2003. Species diversity and trophic composition of litter insects during plant secondary succession. *Caribbean Journal of Science* 39: 161-169.
- Bellwood DR, Hughes TP, Folke C, Nyström M. 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429: 837-833.
- Bolton B. 1994. Identification guide to the ant genera of the world. Cambridge, Mass: Harvard University Press. p. 222.
- Borror D y DeLong D. 1964. An introduction to the study of insects. USA. Holt, Rinehart and Winston. p. 819.
- Brandão CR, Prado LP, Ulysséa MA, Probst RS, Alarcon V. 2015. Dieta das Poneromorfas Neotropicais. In: Jacques H. C. Delabie JHC, Feitosa RM, Serrão JE, Mariano CSF, Majer JD, editores. *As formigas poneromorfas do Brasil*. (Ilhéus, Brasil): Editus. p. 9-12.
- Brown GG, Fragoso C, Barois I, Rojas P, Patrón J, Bueno J, Moreno A, Lavelle P, Ordaz V, Rodríguez C. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*. 1: 79-110.
- Cabrera G, Robaina N, Ponce de León D. 2011. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34: 313-330.
- Cabrera 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. 2014. Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba. (La Habana): Fundación Rufford. p. 34.
- Calero D, López-Victoria M, de Ulloa PC. 2011. Composición y estructura

- trófica de los macroinvertebrados terrestres de la isla Malpelo, pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 40: 155-173.
- Camacho G. 1995. Estudio de la macrofauna edáfica de 3 agroecosistemas en La Mancha [Tesis profesional] [Veracruz (México)]: Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. p. 63.
- CEPF. 2009. Tumbes-Chocó-Magdalena Biodiversity Hotspot Chocó-Manabi Conservation Corridor. Program for Consolidation. Washington, DC. 8 pp.
- Chao, A., y L. Jost. 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), pp. 2533–2547.
- Chao, A., Ma, KH y Hsieh, TC (2016) iNEXT (iNterpolation y EXTrapolation) en línea. Programa y guía del usuario publicado en http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/
- Colwell RK. 2013. *EstimateS*, Version 9.1: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples.
- Concejo Municipal de Condoto. Plan de Desarrollo Municipal de Condoto “Gente que sirve a la gente” 2012 - 2015. Condoto 59 pp.
- Cordero VA. 2008. Composición de los gremios de artrópodos en sistemas vegetales mono-específicos y poliespecíficos de trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y ballica italiana (*Lolium multiflorum* Lam.). [Tesis profesional] [Valdivia (Chile)]: Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. p. 77.
- Cunha H. 2006. Cupins (*Isoptera*) bioindicadores para conservação do Cerrado em Goiás. [Tesis de doctorado] [Goiás(Brasil)]: Universidad Federal de Goiás. 79 p.
- Curry JP. 1987. The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. II. Factors affecting the abundance and composition of the

- fauna. *Grass and Forage Science*, 42:197-212.
- Curtis DJ y Machado G. 2007. Ecology. En: Pinto-da-Rocha R, Machado G, Giribet G, editores. *Harvestmen: the biology of the Opiliones*. Harvard University Press, Cambridge and London. p. 280-308.
- Delabie JHC, Della TL y Pastre L. 2000. An experimental protocol for testing new formulations of granulated baits for the control of leaf-cutting ants *Acromyrmex* spp. and *Atta* spp. (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae: Attini) in the field. 4^a ed. (Brasil): *Anais da Sociedade Entomologica do Brasil*, 29: 843-848.
- Delgado G, Burbano A, Silva AP. 2011. Evaluación de la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas con café (*Coffea arabica* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28: 91–106.
- Doak DF, Bigger D, Harding EK, Marvier MA, O'Malley RE, Omson D. 1998. the statistical inevitability of stability-diversity relationships in community ecology. *The American Naturalist*, 151: 264-276.
- Escribano R., Encinas A. y M.A. Martín. 1997. Ecotonos: importancia de la transición entre las agrupaciones arbóreas y el matorral en la gestión forestal. Estudio de casos. *Congresos Forestales*. 295-300.
- Espinal, S. 1977. Zonas de vida y formaciones vegetales de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, Bogotá. 13(11):1-337.
- Feijoo MA, Bronson KE, Welle P, Moreno A. 1999. Quantifying soil macrofauna in a Colombian watershed. *Pedobiologia*, 43: 513-517.
- Fernandez FC. 2000. Sistemática y filogenia de los himenópteros de la región neotropical: estado del conocimiento y perspectivas. En: Martín-Piera F, JJ Morrone y Melic A. Editores. *Hacia un Proyecto CYTED para el Inventario y Estimación de la Diversidad Entomológica en Iberoamérica*. (Zaragoza): *PRIBES-2000*. p. 211 - 231.

- Fierro TA, Zúñiga AA, Aguilera PA, Rebolledo RR. 2011. Carábidos (Coleoptera: Carabidae) presentes en un relicto vegetacional del llano central de La Araucanía. *Idesia*, 29 (3): 87-94.
- Fragoso C y Lavelle P. 1992. Earthworm communities of Tropical Rain Forests. *Soil Biologi Biochemistry*, 24: 1397-1408.
- Fowler HG, Bernardi JVE, di Romagnano LFT. 1990. Community structure and *Solenopsis invicta* in São Paulo. En: Vander MRK, Jaffé K, Cedeno A, editores. *Applied Myrmecology: A World Perspective* Westview Press, Boulder. p.199-207.
- Fuster A. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae), indicadores de perturbación en un ecosistema forestal, en el Chaco Semiárido Argentino. [Tesis] [Argentina]: Facultad de Ciencias Forestales "Néstor René Ledesma". Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Gagné RJ. 2010. Update for a catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the world. Systematic Entomology Laboratory, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. p. 544.
- García-Álvarez A y Bello A. 2004. Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica. [Memorias]: I Conferencia Internacional Eco-Biología del Suelo y el Compost. León, España. p. 211.
- García-Gutiérrez C, González-Maldonado MB y González-Hernández A. 2013. Parasitismo natural de Braconidae e Ichneumonidae (Hymenoptera) sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 39 (2): 211-215.
- García-Romero A, Oropeza-Orozco O, Galicia-Sarmiento L. 2005. Land-use systems and resilience of tropical rain forests in the Tehuantepec Isthmus, México. *Environmental Management*, 34: 768-785.
- Ghandhi, K.J.K.; Spence, J.R.; Langorb, D.W. & Morgantinie, L.E., 2001. Fire

residuals as habitat reserves for epigaeic beetles (Coleoptera: Carabidae and Staphylinidae). *Biological Conservation* 102: 131–141.

Gil-Ortiz R, Martínez M, Falcó-Garí JV, Jiménez-Peydró R. 2010. Lista comentada de las especies de Agromyzidae (Diptera) citadas para Andalucía. *Boletín asociación española entomología*, vol. 34: 307-321.

Giribet G y Kury AB. 2007. Phylogeny and Biogeography. En: Pinto-da-Rocha R, Machado G, Giribet G, editores. *Harvestmen: the biology of the Opiliones*. (London): Harvard University Press, Cambridge and. p. 62-87.

Gómez P.D.F. 2016. Macrofauna edáfica en ecosistemas naturales y agroecosistemas de la ecoregión esteros de Iberá (Corrientes, Argentina). *Ciencia del suelo*, 34 (1): 43-56.

González R y Herrera A. 1983. La macrofauna del suelo del bosque siempreverde estacional de la Sierra del Rosario (resultados preliminares). Sierra del Rosario: Instituto de Zoología. *Reporte de Investigación* 10: 1.

González R y López, R. 1987. La macrofauna de la hojarasca y del suelo de algunos ecosistemas forestales de Cuba. Cuba: Instituto de Zoología. *Reporte de Investigación*, 46: 1.

Granados, A. y Barrera, J. I. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos sobre el repoblamiento de la macrofauna edáfica en la cantera Soratama, Bogotá, DC. *Universitas Scientiarum, Revista de la Facultad de Ciencias*. Edición especial II. 12:73.

Guillén C, Soto-Adames F, Springer M. 2006. Diversidad y abundancia de colémbolos edáficos en un bosque primario, un bosque secundario y un cafetal en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 30 (2):7-17.

Hammer Q., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

- Herrera ML. 2015. Orden Dermaptera. Revista IDE@ - SEA, [Internet]. 42: 10.
Fecha de acceso: 10 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista_42.pdf>
- Holland M.M., Risser P.G. y R.J. Naiman (Eds.). 1991. Ecotones. Chapman and Hall, New York, London. p. 138.
- Iannacone JA y Alvaríño L. 2005. Diversidad de la artropofauna Terrestre en la reserva Nacional de Junín, Perú. *Ecología aplicada*, 5(1-2): 171 – 174.
- Ibáñez-Bemal S, Henández-Ortiz V y Martín del Campo L. 2004. Dolichopodidae (Diptera). En: Llorente BJ, Morrone JJ, Yáñez O, Vargas FI. Editores. Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. (México D.F.): Facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. p. 759-765.
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, Ministerio de Ambiente IIAP y Desarrollo Sostenible MADS. 2012. Protocolo de restauración ecológica de áreas disturbadas por minería, en el Chocó biogeográfico. Quibdó. Informe Técnico Final del Proyecto. N° 182 DE 2011 MADS-IIA P. p. 340.
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). 2013. Diagnóstico ambiental de las áreas degradadas por actividad minera en la costa caucana.
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). 2012. Protocolo de Restauración Ecológica de áreas Degradadas por Minería, el Chocó Biogeográfico. Quibdó: Informe Técnico, Convenio 182. p. 321.
- Jiménez-Ferbans L y Amat-García G. 2009. Sinopsis de los Passalidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) del Caribe colombiano. *Caldasia*. 31 (1): 155-173.

- Jones DT y Eggleton P. 2000. 'Sampling termite assemblages in tropical forests: Testing a rapid biodiversity assessment protocol', *Journal of Applied Ecology*, 37: 191–203.
- Khaghaninia S y Namaki KR. 2015. Some of the grass flies (Diptera, Chloropidae) fauna of West Azarbaijan Province – Irán. *Linzer Biologische Beiträge*, 47 (2): 1573-1579.
- Kolcsár L, Török E, Keresztes L. 2013. Craneflies (Diptera: Tipuloidea) and phantom craneflies (Diptera: Ptychopteridae) fauna around a metropolis (Cluj-Napoca, Romania). *Acta Scientiarum Transylvanica*, 21 (1): 66-78.
- Kolmans E y Vásquez D. 1996. *Manual de agricultura ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación*. Managua. p. 222.
- Lavelle P, Blanchart E, Martin A, Spain AV, Martin S, 1992. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. En: Lal R y Sánchez PA. *Myths and science of soils in the tropics*. 29 ed. (Madison): SSSA Special Publication. p. 157-185.
- Lavelle P, Dangerfield M, Fragoso C, Eschenbrenner V, López- Hernández D, Pashanasi B, Brussaard L. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. En: Woormer PL y Swift MJ. editores. *The Biological management of tropical soil fertility*. New York. p. 137.
- Lavelle P. 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances. Ecological Research*, 24: 93-132.
- Lavelle P. 2000. Ecological challenges for soil science. *Soil Science*, 165: 73-86.
- Lavelle P, Senapati B, Barros E. 2003. Soil macrofauna. En: Schroth G, Sinclair FL. editores. *Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods*. CABF Publishing, UK. p. 303.

- Lopes TR y Sousa GI. 2010. Jejenes (Diptera: Ceratopogonidae: Culicoides), luego de la estación de lluvias, en la reserva de desarrollo sostenible Itatupa-Boquiá, Gurupá, Brasil. *Revista Pan-Amazónica de Saude* 1(2): 121-130.
- López R, González, R, Herrera A. 1986. La macrofauna del suelo en *Pinus tropicalis* Morelet. Instituto de Zoología. Reporte de Investigación, 28: 1.
- Machado G, Pinto-Da-Rocha R, Giribet G. 2007. What are Harvestmen? En: Pinto-da-Rocha, R, Machado G. Giribet G. editores. *Harvestmen: the biology of the Opiliones*. Harvard University Press, Cambridge and London. p. 1-13.
- Mason WH, de Bello F. 2013. Functional diversity: a tool for answering challenging ecological questions. *Journal of Vegetation Science*, 24:777-780.
- Medina-Chavarria J, Valverde C y Wolff M. 2017. Aspectos ecológicos de Sphaeroceridae (Diptera: Acalyptratae) en el bosque seco tropical del Caribe colombiano. *Revista Colombiana de Entomología*, 43 (1): 100-105.
- Micó E, Quinto J, Marcos-García MA. 2013. La vida en la madera: el concepto Saproxilico y sus microhábitats. Grupos de estudio y niveles tróficos. En: Micó E, MarcosGarcía MA, Galante E. editores. *Los insectos saproxílicos del Parque Nacional de Cabañeros: Organismo Autónomo de Parques Nacionales, (Madrid): Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, p. 33-52.
- Montero UA, Carnevale NJ, Magra. G. 2011. Ensamblajes estacionales de artrópodos epigeos en un bosque de quebracho (*Schinopsis balansae*) en el Chaco Húmedo. *Revista Colombiana de Entomología*, 37 (2): 294-304.
- Morales-Maldonado ER, García-Andrade DJ, Ojeda-Barrios DL y Hernández-Rodríguez A. 2018. Estructura de la comunidad de Evaniidae (Hymenoptera-Evanoidea) en la reserva de Ría Lagartos, Yucatán, México.

Investigación agropecuaria 15 (1): 1-13.

- Moreira F, Huising EJ, Bignell DE. 2012. Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. (México): Instituto Nacional de Ecología. p. 337.
- Moure JS and Hurd JR. 1987. An Annotated Catalog of the Halictid Bees of the Western Hemisphere (Hymenoptera:Halictidae). (Washington D.C.): Smithsonian Institution Press. p. 405.
- Pascual F.T. 2015. Orden Blattodea. *Revista IDE@ - SEA*, [Internet]. 48: 13. Fecha de acceso: 10 de mayo de 2017. Disponible en: http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista_48.pdf
- Pashanasi B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*. 12:75.
- Pérez HN, Pilar M.D. y Umaran A. Orden Hemiptera: Subórdenes Cicadomorpha, Fulgoromorpha y Sternorrhyncha. *Revista IDE@ - SEA*, [Internet]. 54: 18. Fecha de acceso: 10 de mayo de 2017. Disponible en: http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista_54.pdf
- Pimm SL. 1999. The dynamics of the flows of matter and energy. En: McGlade J. editor. *Advanced ecological theory, principles and applications*, (London). Blackwell Science. p. 172-193.
- Poveda C, Rojas C, Rudas A, Rangel-Ch. O. 2004. Climas del Chocó Biogeográfico de Colombia. En: Rangel J. editor. *Colombia Diversidad Biótica IV. Chocó Biogeográfico/ Costa Pacífica*. (Bogotá D.C.): Universidad Nacional de Colombia. Editorial Universidad Nacional de Colombia. p. 39-89.
- Prieto D, Rodríguez C. 1996. Índices de agregación de los invertebrados de la hojarasca en un bosque siempre-verde de la Reserva de la Biosfera de la

Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba. Análisis comparativo. *Revista Biología*, 10:27.

Ramírez-GA. (2006). *Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Editorial, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia.

Rangel J. 2004. *Colombia Diversidad Biótica IV. Chocó Biogeográfico/ Costa Pacífica*. (Bogotá D.C.): Universidad Nacional de Colombia. Editorial Universidad Nacional de Colombia. p. 997.

Rivero SHT y Hernández AG. 2009. Especies, fluctuación poblacional y enemigos naturales de chinches (Hemiptera: Pentatomidae, Coreidae, Largidae) asociadas a nogal pecanero. *Southwestern Entomologist*, 34 (3): 305-318.

Rojas FP. 2001. *Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (hymenoptera: formicidae)*. (México): Instituto de Ecología, A.C., Departamento Biología de Suelos.

Ruiz DH. 2007. *Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso de la tierra en la parte media de la cuenca del Río Otún*. [Tesis de Master] [Risaralda]: Universidad de La Habana. p.95.

Ruiz-Cobo D, Feijoo A, Rodríguez C. 2010. Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso del terreno en la cuenca del río Otún, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*, 2: 165-178.

Salas AMD, Romero NJ y García AE. 2001. Contribución al estudio de los brúquidos (Insecta: Coleoptera) asociados a fabá - ceas arbustivas. *Acta Universitaria*, 11: 26-30.

Salgado-Negret B. 2015. *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. (Bogotá): Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von

Humboldt. p. 236.

Schultz RT. 1999. Ants, plants and antibiotic. News and views. En: Macmillan Magazines Ltd. p. 747-748.

Silvestre R, Brandao CF, da Silva. RR. 2003. Grupos funcionales de hormigas: el caso de los grupos del Cerrado. En: Fernandez F. editores. Introducción a las Hormigas de la región Neotropical. (Bogotá): Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, XXVI: 398.

Sinclair BJ y Cumming, JM. 2006. The morphology, higher-level phylogeny and classification of the Empidoidea (Diptera). Zootaxa 1180: 1-172.

Skelly PE. 1999. Pleasing Fungus Beetles, Pseudischyrus, Tritoma, Megalodacne, Ischyrus spp. (Insecta: Coleoptera: Erotylidae). Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. DPI Entomology Circular, 313:1-3.

Suárez AV. 2015. Utilización de coleópteros como indicadores ecológicos en gradientes urbanos de Gijón y León (no Península Ibérica). Tesis doctoral. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental. Universidad de León. p. 169.

Taylor BW, Flecker AS, Hall Jr.R 2006. Loss of a harvested fish species disrupts carbon flow in a diverse tropical river. Science, 313:833-836.

Terborgh J y Robinson S. 1986. Guilds and their utility in ecology. En: Kikkawa J y Anderson DJ. editores. Community ecology: pattern and process. (Palo Alto): Blackwell Scientific Publications. p.65-90.

Tolrá HM. 2015. Orden Diptera. Revista IDE@ - SEA, [Internet]. 63: 1-22. Fecha de acceso: 10 de abril de 2017. Disponible en: <http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista_63.pdf

Valois CH. 2016. Palencia, 2016. Sucesión primaria y ecología de la revegetación de selvas degradadas por minería en el Chocó, Colombia:

bases para su restauración ecológica. Tesis doctoral. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible. Universidad de Valladolid. p. 199.

Vallejo F. 1997. Contribución al conocimiento de las plagas subterráneas-chisas (Coleoptera: Melolonthidae) del Oriente de Antioquia, Colombia. [Tesis de maestría] [Medellín]: Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. p. 235.

Vargas PL, Quesada Z, Ramírez G, Valoyes Z. 2010. Diagnóstico ambiental de las áreas degradadas por la actividad minera en el municipio de Atrato, Chocó. *Revista Bioetnia*, 7(1): 23-37.

Villarreal H, Álvarez M, Córdoba S, Escobar F, Fagua G, Gast F, Mendoza H, Ospina M, Umaña A. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. En: Manual de métodos para el desarrollo de inventarios. Segunda edición. (Bogotá): Programa de inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, p.19-28.

Violle C, Navas ML, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I, Garnier E. 2007. Let the concept of trait be functional. *Oikos*, 116:882-892.

Wilkie RK, Mertl AL, Traniello JFA. 2010. Species Diversity and Distribution Patterns of the Ants of Amazonian Ecuador. e13146. *Plos One*, 5 (10): 12.

Zaragoza-Caballero S y Pérez-Hernández CX. 2014. Biodiversidad de Cantaroideos [Coleoptera: Elateroidea (Cantharidae, Lampyridae, Lycidae, Phengodidae, Telegeusidae)] en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 279-289.

Zerbino BM 2005. Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción. [Tesis de Maestría] [Montevideo]: Facultad de Ciencias. Universidad de la Republica. p. 100.

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

Anexo 1. Descripción de microhábitats por área muestreada

ÁREA	MICROHÁBITAT	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA		
			Abundante	Medio	Escaso
Mina 5-10 años	Arbusto-Pasto	Suelo arenoso-pedregoso, con gramíneas y vegetación arbustiva; algunos arbustos presentan bayas	X		
	Piedras-Helecho	Suelo pedregoso, con helechos. La mayoría de los puntos de muestreo correspondieron a montículos de piedras producto de la actividad minera, cuya única vegetación estuvo conformada por helechos.	X		
	Hojarasca	Este microhábitat estuvo conformado por parches de bosque nuevo, el cual se formó por la acumulación del material arcilloso, materia orgánica y plantas removidas de los sitios de excavación durante la actividad minera. Estos presentan arbustos y árboles con alturas no mayores a los 15 m, los cuales favorecen la producción frecuente de hojarasca; incluso se consiguen algunos troncos en descomposición			X
	Tronco	Árboles caídos y tablas (producto de anteriores potreros) en estado de descomposición			X
	Laguna	Lagunas creadas por las excavaciones durante la actividad minera, tras ser abandonadas. El área muestreada corresponde a suelo arenoso-pedregoso, expuesto a inundaciones periódicas durante las lluvias, con pasto y herbáceas alrededor.	X		
Mina 15-20 años	Pasto-Helecho-Piedras	Zona alta de una colina, rodeada de helechos, gramínea, vegetación reseca por el sol, sustrato rocoso, con un árbol de	X		

		guayaba fructífero.			
	Hojarasca	Suelo con una pequeña capa de hojarasca, mucho barro y algunos puntos pantanosos. Se encuentran algunos hormigueros y termiteros alrededor. Vegetación compuesta principalmente por árboles como yarumo y algodoncillo. Se encuentran muchos claros			X
	Raiz	Raíces de árboles de pequeño porte, que por encontrarse en suelo arenoso y producir hojarasca, permiten la creación de nidos de algunas hormigas y constituyen el refugio temporal de otros artrópodos			X
	Tronco	Algunos troncos en descomposición, rodeados por una pequeña capa de vegetación compuesta por helechos. En uno de los puntos se encontró un árbol de algodoncillo que proporciona algo de hojarasca.			X
Mina >30 años	Raiz	Raíces de árboles cuya forma permite el refugio de artrópodos que buscan humedad, sombra y protección. Algunas se encuentran en suelo pedregoso con hojarasca y rodeadas por helechos, y otras se encuentran en suelo arcilloso y hojarasca.		X	
	Tronco	Tronco en descomposición, rodeado de algunas herbáceas y arbustos. A su alrededor el suelo es arcilloso-pedregoso.			X
	Hojarasca	Suelo (algunas puntos compuestos por arcilla y otros por piedras) con hojarasca. Vegetación compuesta por árboles de aproximadamente 20 m de alto		X	

	Piedra-Helecho	Suelo pedregoso, con helechos. La mayoría de los puntos de muestreo correspondieron a montículos de piedras producto de la actividad minera, cuya única vegetación estuvo conformada por helechos.		X	
Hábitat Referencia	Raiz	Raíces de árboles como el mancha mancho, buchona, canelo, sangre gallo, entre otros, quienes por las características de sus raíces (ancho y/o forma) constituyen un importante refugio para diferentes especies de artrópodos.	X		
	Tronco	Partes de troncos de árboles cortados para extracción de madera, los cuales están rodeados de hojarasca musgos y algunas epífitas.	X		
	Hojarasca	Suelo con una capa gruesa de materia orgánica, cuya superficie está cubierta por mucho hojarasca (principalmente de palmas y Cecropiaceae). La vegetación se compone de variedad de arbustos, algunos helechos y árboles entre 25 a 30 m de altura. Se encuentran hojas de palma secas que en su interior alojaban gran cantidad de artrópodos, principalmente individuos pertenecientes al orden coleoptera.	X		
	Helechos-Hojarasca	Suelo con abundante hojarasca y helechos que proporcionan una amplia sobra para la artropofauna que transita entre la hojarasca		X	

Anexo 2. Composición taxonómica de la artropofauna edáfica presente en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia.

ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	HÁBITATS/ABUNDANCIAS			
			M 5-10	M 15-20	M >30	HR
Archaeognatha	Meinertellidae	Meinertellidae sp.1		2	2	7
Blattodea	Blaberidae	Blaberidae sp.			1	8
	Blattellidae	Blattellidae sp.1			2	
		Blattellidae sp.2				2
		Blattellidae sp.3				5
		Blattellidae sp.4		1		
		Blattellidae sp.5				3
		Blattellidae sp.6				3
	Blattidae	Blattidae sp.1	7		2	6
Blattidae sp.2					2	
Coleoptera	Bruchidae	Bruchidae sp.1		2	2	2
	Cantharidae	Cantharidae sp.			2	
	Carabidae	Carabidae sp.1	1			2
		Carabidae sp.2		1		1
	Cerambycidae	Cerambycidae sp.1				9
	Chrysomelidae	Chrysomelidae sp.3	1		2	
		Chrysomelidae sp.1		2	1	
		Chrysomelidae sp.2		1	1	
		Chrysomelidae sp.4			2	
	Coccinellidae	Coccinellidae sp.1	1		3	
	Curculionidae	Scolytinae sp.1	1		7	9
		Scolytinae sp.2	11	10	5	39
		Scolytinae sp.13				4
		Scolytinae sp.14				2
		Scolytinae sp.15			2	4
Curculionidae sp.3					6	
Curculionidae sp.4					22	
Curculionidae sp.5					7	
Curculionidae sp.6					2	
Curculionidae sp.8				6		
Curculionidae sp.9				6		

		Curculionidae sp.11				9
		Curculionidae sp.12			3	
Elateridae		Elateridae sp.1	4			
		Elateridae sp.2				18
Erotylidae		Erotylidae sp.1			2	
Lampyridae		Lampyridae sp.1	1			2
Lycidae		Lycidae sp.1			2	
Melolonthidae		Melolonthidae sp.1			2	
Nitidulidae		Nitidulidae sp.1		2	4	24
		Nitidulidae sp.2				17
		Nitidulidae sp.3				3
Nosodendridae		Nosodendridae sp.1			2	
Passalidae		Passalidae sp.1			2	8
Scarabaeidae		Scarabaeidae sp.				2
Staphilinidae		Staphilinidae sp.8	2			
		Staphilinidae sp.1	1		2	4
		Staphilinidae sp.2			2	14
		Staphilinidae sp.3			2	11
		Staphilinidae sp.5			4	
		Staphilinidae sp.9			1	24
		Staphilinidae sp.4				2
		Staphilinidae sp.6			1	4
Tenebrionidae		Tenebrionidae sp.				2
Throscidae		Throscidae sp.			1	1
Collembola	Dycirtomidae	Dycirtomidae sp.1				6
	Entomobryidae	Entomobryidae sp.1	5		6	57
		Entomobryidae sp.2		3		6
	Hypogastruridae	Hypogastruridae sp.1				3
	Isotomidae	Isotomidae sp.1	1			8
		Isotomidae sp.2	22			
	Paronellidae	Paronellidae sp.2			2	
Paronellidae sp.3					7	
Paronellidae sp.4					4	
Dermaptera	Labiidae	Labiidae sp.2	2	12		3
		Labiidae sp.1		4		

		Labiidae sp.5		4	2	
		Labiidae sp.6		2		
	Chelisochidae	Chelisochidae sp.			7	
	Labiduridae	Labiduridae sp.1			2	
		Labiduridae sp.2		3		
		Labiduridae sp.4				6
Diptera	Agromyzidae	Agromyzidae sp.1		1	3	15
	Cecidomyiidae	Cecidomyiidae sp.			2	
	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae sp.1	1			
	Chloropidae	Chloropidae sp.1		1		
		Chloropidae sp.2				2
	Culicidae	Culicidae sp.1			3	
		Culicidae sp.3			3	
	Dolichopodidae	Dolichopodidae sp.			2	
	Drosophilidae	Drosophilidae sp.4		2		7
		Drosophilidae sp.1			5	
	Empididae	Empididae sp.1	3			
	Micropezidae sp	Micropezidae sp.			1	1
	Phoridae	Phoridae sp.3	13	6	24	30
		Phoridae sp.2	2		25	9
		Phoridae sp.4		1	4	4
		Phoridae sp.5				5
		Phoridae sp.6				5
	Platystomatidae	Platystomatidae sp.1				2
	Psychodidae	Psychodidae sp.1				2
	Richardiidae	Richardiidae sp.1			2	
Sphaeroceridae	Sphaeroceridae sp.1		1		3	
Stratiomyidae	Stratiomyidae sp.1				2	
Tipulidae	Tipulidae sp.1	2		2		
Hemiptera	Cercopidae	Cercopidae sp.1		1	1	1
		Cercopidae sp.2	1	1		
		Cercopidae sp.3		1	1	
		Cercopidae sp.4			2	

	Cicadellidae	Cicadellidae sp.1			4		
	Coreidae	Coreidae sp.1	14	1			
		Coreidae sp.3				2	
		Coreidae sp.4		2			
	Lygaeidae	Lygaeidae sp.1	2	3	2		
	Reduviidae	<i>Emesinae</i> sp.			2		
		Reduviidae sp.1		8	1	2	
		Reduviidae sp.2		1		1	
		Reduviidae sp.3				3	
	Pentatomidae	Pentatomidae sp.2			2		
		Pentatomidae sp.1	3	3			
	Tingidae	Tingidae sp.1				2	
Hymenoptera	Apidae	Apidae sp.		1		3	
		<i>Tetragona</i> sp. 2			7		
	Braconidae	Braconidae sp.			2		
	Diapriidae	Diapriidae sp.1		2		5	
	Evaniidae	Evaniidae sp.1		1			
	Formicidae	<i>Acromyrmex</i> sp.					4
		<i>Apterostigma</i> sp.1				5	2
		<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758)	2				
		<i>Atta cephalotes</i> (Linnaeus, 1758)	42	144	55		39
		<i>Atta colombica</i> (Guérin-Méneville, 1844)		57	-.		
		<i>Azteca</i> sp.1	11	46	54		
		<i>Azteca</i> sp.2		122	31		18
		<i>Azteca</i> sp.3			9		
		<i>Brachymyrmex patagonicus</i> (Mayr, 1868)	2				
		<i>Brachymyrmex</i> sp.1			3		2
		<i>Camponotus</i> sp.1	114	155	7		7
		<i>Camponotus</i> sp.3	24	4			
		<i>Camponotus</i> sp.2	40	7			
		<i>Camponotus sericeiventris</i> (Gužrin 1838)			3		6
		<i>Cardiocondyla</i> sp.1	29				
		<i>Cephalotes clypeatus</i> (Fabricius, 1804)		1	4		
	<i>Cephalotes atratus</i> (Linnaeus, 1758)		7	9		6	

<i>Creumatogaster nigropilosa</i> (Mayr, 1870)	2	4		
<i>Creumatogaster brasiliensis</i> (Mayr, 1878)	2			
<i>Creumatogaster carinata</i> (Mayr, 1862)		5		
<i>Creumatogaster limata</i> (Smith, F., 1858)		11		
<i>Creumatogaster stollii</i> (Forel, 1904)			2	6
<i>Creumatogaster tenuicula</i> (Forel, 1904)			10	2
<i>Creumatogaster sp.</i>			10	2
<i>Cyphomyrmex sp.1</i>	15		2	1
<i>Cyphomyrmex cornutus</i> (Kempf, 1968)			2	
<i>Dolichoderus bispinosus</i> (Olivier, 1792)		5	26	37
<i>Dolichoderus attelaboides</i> (Fabricius, 1775)			25	1
<i>Dolichoderus sp.1</i>			36	
<i>Dorymyrmex sp.1</i>	812	26	2	8
<i>Eciton sp.1</i>			9	
<i>Ectatomma ruidum</i> (Roger, 1861)	52	20	3	12
<i>Ectatomma tuberculatum</i> (Olivier, 1792)			13	
<i>Gnamptogenys sp.2</i>		32		2
<i>Gnamptogenys sp.3</i>				2
<i>Gnamptogenys sp.1</i>				10
<i>Gnamptogenys bispinosa</i> (Emery, 1890)				30
<i>Hypoponera sp.1</i>		3	6	
<i>Mayaponera constricta</i> (Mayr, 1884)			11	
<i>Megalomyrmex sp.1</i>		1	32	13
<i>Megalomyrmex sp.2</i>				2
<i>Monomorium sp.1</i>	2			
<i>Neivamyrmex sp.1</i>		3		
<i>Neoponera venerae</i> (Forel, 1922)		3	1	1
<i>Neoponera sp.1</i>			11	5
<i>Neoponera apicalis</i> (Latreille, 1802)			2	3
<i>Neoponera villosa</i> (Fabricius, 1804)			2	
<i>Neoponera stradinodis</i> (Emery, 1890)		2		

<i>Neoponera unidentata</i> (Mayr, 1862)		4		
<i>Nesomyrmex sp.</i>			2	
<i>Nylanderia sp.1</i>	1	6		17
<i>Nylanderia sp.2</i>			4	18
<i>Odontomachus sp.1</i>	10	50	39	15
<i>Odontomachus sp.2</i>	4	5		
<i>Pachycondyla sp.1</i>	2		3	3
<i>Pachycondyla impressa</i> (Roger, 1861)		21	8	9
<i>Pachycondyla sp.2</i>		1	2	31
<i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804)			5	
<i>Pachycondyla nr. Goeldi</i>			3	
<i>Paraponera clavata</i> (Fabricius, 1775)	1		3	10
<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802)	2	1		
<i>Partamona sp.</i>				2
<i>Pheidole sp.1</i>	20	50	55	87
<i>Pheidole sp.6</i>	12			
<i>Pheidole sp.4</i>	56	12	11	38
<i>Pheidole sp.3</i>	108	29	2	1
<i>Pheidole sp.2</i>	17		14	2
<i>Pheidole sp.5</i>	6		16	
<i>Pheidole sp.8</i>	8	17		
<i>Pheidole sp.7</i>			5	
<i>Platythyrea sp.1</i>				7
<i>Pseudomyrmex sp.1</i>	7	4	2	2
<i>Pseudomyrmex sp.2</i>			2	
<i>Sericomyrmex sp.1</i>				2
<i>Solenopsis sp.1</i>	28	61	9	12
<i>Solenopsis sp.2</i>	9			
<i>Solenopsis sp.4</i>	115	105	11	3
<i>Solenopsis sp.3</i>	3			6
<i>Solenopsis sp.6</i>		20		
<i>Solenopsis sp.5</i>			1	25
<i>Strumigenys sp.</i>		3	6	
<i>Tapinoma sp.1</i>	3		17	
<i>Trachymyrmex sp.1</i>				3

		<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)			6	17
	Halictidae	Halictidae sp.1	3			
	Platygastridae	Platygastridae sp.1	2	4		
	Pompilidae	Pompilidae sp.1	2			
	Pompilidae	Pompilidae sp.2	2			
Isoptera	Termitidae	<i>Nasutitermes sp.</i>	189	345	71	352
	Rhinotermitidae	Rhinotermitidae sp.1		36	36	
Opiliones	Agoristenidae	Agoristenidae sp.1			10	2
	Cosmetidae	Cosmetidae sp.1				2
		Cosmetidae sp.2		1		2
		Cosmetidae sp.3			3	
	Cranidae	Cranidae sp.		2	16	21
	Fissiphalliidae	Fissiphalliidae sp.1			6	
	Manaosbiidae	Manaosbiidae sp.			5	4
	Nemoclastidae	Nemoclastidae sp.1			3	1
	Sclerosomatidae	Sclerosomatidae sp.1		1		2
	Stygnommatidae	Stygnommatidae sp.1		1		1
	Zalmoxidae	Zalmoxidae sp.1			4	
Orthoptera	Acrididae	Acrididae sp.1	6	2	5	2
		Acrididae sp.2				2
		Acrididae sp.3		2		
	Eumastacidae	Eumastacinae sp.1			3	
	Gryllidae	Eneopterinae sp.1	5	9	40	159
		Gryllinae sp.2	110	13	12	26
		Landrevinae sp.				17
		Nemobiinae sp.				2
	Phalangopsidae	Luzarinae sp.1			2	
		Luzarinae sp.2				4
		Luzarinae sp.3		2		
Luzarinae sp.4			2	2	3	
Phalangopsinae sp.				19	1	

Anexo 3. Composición de gremios tróficos de artrópodos edáficos de Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia

GREMIO	ORDEN	FAMILIA	RIQUEZA	ABUNDANCIA	FUENTE
Depredadores	Archaeognatha	Meinertellidae	1	11	Bach et al. (2015)
	Coleoptera	Cantharidae	1	2	Zaragoza-Caballero, Perez-hernandez (2014)
		Carabidae	2	5	Micó et al. (2013)
		Coccinellidae	1	4	Zúñiga et al. 1986
		Lampyridae	1	3	Zaragoza-Caballero, Perez-hernandez (2014)
		Lycidae	1	2	Zaragoza-Caballero, Perez-hernandez (2014)
		Staphilinidae	8	74	Calero et al. (2011)
	Diptera	Dolichopodidae	1	2	Ibáñez-Bernal et al. (2004)
		Empididae	1	3	Sinclair y Jeffrey (2006)
	Hemiptera	Reduviidae	3	16	Schuh & Slater (1995)
	Hymenoptera	Formicidae	24	1339	Silvestre et al. (2003)
		Pompilidae	2	4	Fernandez (2000)
	Detritívoros	Coleoptera	Nitidulidae	3	50
Passalidae			1	10	Jiménez-Ferbans, Amat-García (2009)
Scarabaeidae			1	2	Jiménez-Ferbans, Amat-García (2009)
Tenebrionidae			1	2	Micó et al. (2013)
Throscidae			1	2	Cobos (1959)
Collembola		Dycirtomidae	1	6	Calero et al. (2011)
		Entomobryidae	2	77	Calero et al. (2011)
		Hypogastruridae	1	3	Calero et al. (2011)
		Isotomidae	2	31	Calero et al. (2011)
		Paronellidae	3	13	Calero et al. (2011)
Diptera		Micropezidae sp	1	2	Marshall (2010)
		Phoridae	5	128	Byrd y Castner (2001)
		Platystomatidae	1	2	Tolrá 2015
		Sphaeroceridae	1	4	Medina-Cavarria 2017
Isoptera		Termitidae	1	957	Grassé (1984)
		Rhinotermitidae	1	72	Grassé (1984)

Fitófagos	Coleoptera	Bruchidae	1	6	Salas et al. (2001)	
		Cerambycidae	1	9	García-Lopez et al., 2013	
		Chrysomelidae	4	10	Artigas (1994)	
		Curculionidae	13	155	Micó et al. (2013)	
		Elateridae	2	22	García-Lopez et al., 2013	
		Melolonthidae	1	2	Vallejo (1997)	
		Nosodendridae	1	2	Zaragoza et al. 2015	
	Diptera	Agromyzidae	1	19	Gil et al. (2010)	
		Cecidomyiidae	1	2	Gagné RJ (2010)	
		Chloropidae	2	3	Khaghaninia y Namaki 2015	
		Drosophilidae	2	14	Calero et al. (2011)	
		Psychodidae	1	2	Calero et al. (2011)	
		Richardiidae	1	2	Calero et al. (2011)	
		Stratiomyidae	1	2	Calero et al. (2011)	
		Tipulidae	1	4	Kolcsár et al. 2013	
	Hemiptera	Cercopidae	4	9	Borrór y Delong (1964)	
		Cicadellidae	1	4	Borrór y Delong (1964)	
		Coreidae	3	19	Rivero y Hernández 2009	
		Lygaeidae	1	7	Borrór y Delong (1964)	
		Reduviidae	1	2	Perez et al. (2015)	
		Pentatomidae	2	8	Rivero y Hernández 2009	
		Tingidae	1	2	Rivero y Hernández 2009	
	Hymenoptera	Apidae	2	11	Borrór y Delong (1964)	
		Formicidae	8	181	Borrór y Delong (1964), Silvestre et al. (2003)	
		Halictidae	1	3	Moure y Hurd (1987)	
	Orthoptera	Acrididae	3	19	Artigas (1994)	
		Eumastacidae	1	3	Artigas (1994)	
	Micófagos	Coleoptera	Erotylidae	1	2	Skelley, 1999
		Hymenoptera	Formicidae	8	373	Silvestre et al. (2003)
	Omnívoros	Blattodea	Blaberidae	1	9	Pascual (2015)
Blattellidae			6	16	Pascual (2015)	
Blattidae			2	17	Pascual (2015)	
Dermaptera		Labiidae	4	29	Herrera (2015)	
		Labiduridae	3	11	Herrera (2015)	
		Chelisochidae	1	7	Herrera (2015)	

	Hymenoptera	Formicidae	44	1857	Silvestre et al. (2003), Wilkie et al. (2010), Brandão et al. (2015)
	Opiliones	Agoristenidae	1	12	Marcoleta (2013)
		Cosmetidae	3	8	Marcoleta (2013)
		Cranidae	1	39	Marcoleta (2013)
		Fissiphallidae	1	6	Marcoleta (2013)
		Manosbiidae	1	9	Marcoleta (2013)
		Nemoclastidae	1	4	Marcoleta (2013)
		Sclerosomatidae	1	3	Marcoleta (2013)
		Stygnommatidae	1	2	Marcoleta (2013)
		Zalmoxidae	1	4	Marcoleta (2013)
	Orthoptera	Gryllidae	4	393	Aguirre-S y Barranco (2015)
		Phalangopsidae	5	35	Aguirre-S y Barranco (2015)
Parásitos	Diptera	Ceratopogonidae	1	1	Lopes y De Sousa 2010
		Culicidae	2	6	Ávalos-H. et al. (2016)
	Hymenoptera	Braconidae	1	2	García-G, et al. (2013)
		Diapriidae	1	7	Fernandez (2000)
		Evanidae	1	1	Morales-M, et al. (2018)
		Platygastridae	1	6	Fernandez (2000)