

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE**  
**CARRERA DE ECOLOGÍA Y DESARROLLO**



**Tesis de grado para optar al título de  
Licenciatura en Ecología y Desarrollo**

**Composición de la Comunidad de Hormigas a lo largo de un Gradiente de  
Intensificación Agrícola en Zonas de Bosque Tropical Húmedo en la Región  
Autónoma Atlántico Sur, Nicaragua.**

**Presentado por: Gladys Luna Bello**

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE**  
**CARRERA DE ECOLOGÍA Y DESARROLLO**

**Tesis de grado para optar al título de  
Licenciatura en Ecología y Desarrollo**

**Composición de la Comunidad de Hormigas a lo largo de un Gradiente de  
Intensificación Agrícola en Zonas de Bosque Tropical Húmedo en la Región  
Autónoma Atlántico Sur, Nicaragua.**

**Presentado por: Gladys Luna Bello**

**Tutora: Dra. Ivette Perfecto**

**Asesor: Dr. Jean-Michel Maes**

**Comité Revisor: Martín Lezama  
Mijail Pérez  
Rolando López**

**Managua, Nicaragua**

## TABLA DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>I</b>
<b>2 ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
<b>3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
4.1 OBJETIVO GENERAL: .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>5 REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.1 FRAGMENTACION DE LOS ECOSISTEMAS	
5.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.1.1 <i>Plantaciones de Caña de Azúcar</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.1.2 <i>Pastizales</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.1.3 <i>Tumba y Quema</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.1.4 <i>Agroecosistemas o Sistemas Agroforestales</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.2 DIVERSIDAD Y ESTABILIDAD .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.3 SUCESIÓN .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.3.1 <i>Sucesión Secundaria</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.4 CONDICIONES CLIMÁTICAS .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.4.1 <i>Acciones de los Organismos del Suelo</i> ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.4.2 <i>Microclima</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.5 EL ROL ECOLÓGICO DE LA BIODIVERSIDAD EN LA AGRICULTURA	<b>¡ERROR!</b>
<b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
5.6 ORIGEN DE LAS HORMIGAS .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.6.1 <i>La Organización Básica de la Colonia de Hormigas</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.7 FUNCIONES ECOLÓGICAS DE LAS HORMIGAS .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.7.1 <i>Plantas Mirmecófitas</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.7.2 <i>Plantas que Alimentan a las Hormigas</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.7.3 <i>Mirmecocoría</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.8 USANDO HORMIGAS COMO BIOINDICADORES .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>6 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
6.1 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
6.1.1 <i>Aspectos Socio-Económicos</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
6.2.1 <i>La Unión-Caño Negro</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6.2.2 <i>Bodega- Kukra River</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6.2.3 <i>Kukra Hill- Plantaciones de Caña de Azúcar</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6.2.4 <i>Rocky Point- Laguna de Perlas</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6.3 MÉTODOS .....	<b>23</b>
<b>7 BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>23</b>

## 1 Introducción

La tierra está sufriendo cambios sin precedente en sus ambientes naturales. La pérdida y fragmentación de los bosques y sus implicaciones para la conservación de la biodiversidad tienen importancia mundial (Bennett 2004).

Las áreas de bosque natural, particularmente en el Neotrópico, se reducen cada vez más hasta convertirse en un mosaico de fragmentos grandes y pequeños, sobrevivientes de bosques que han sido reducidos para desarrollar nuevas formas de producción de la tierra por parte de los humanos (Bennett 2004). El bosque original tiene cada vez menos área y se caracteriza por estar más aislado, es decir más fragmentado y, rodeado de una matriz compuesta por ciudades, carreteras y áreas agrícolas.

Hasta mediados de los años ochenta, la mayoría de las investigaciones ecológicas y los esfuerzos de conservación se enfocaron principalmente en los fragmentos boscosos, sin prestar mucha atención a los agroecosistemas (Perfecto *et al.* 1996), no obstante, hoy sabemos que la matriz agrícola que rodea estos fragmentos, puede jugar un papel crítico conservando la biodiversidad del paisaje (Griffith 2000). Por lo tanto, si se quiere hablar de conservación de la biodiversidad, se tiene que hablar del uso de la tierra en paisajes fragmentados.

En Nicaragua, las tierras de vocación forestal cubren cerca de 6.2 millones de hectáreas, de ellas, 1.8 millones se consideran apropiadas para fines de conservación y 4.4 para fines de producción (Pasos *et al.* 1994). El bosque húmedo tropical cubre 3.8 millones de hectáreas y se encuentra principalmente en las Regiones Autónomas del Atlántico y el departamento de Río San Juan. Dentro de esta área, un porcentaje significativo de tierras ha sido transformada a nuevos usos, tales como la ganadería extensiva, sistemas de producción agrícola y áreas con vegetación arbustiva, creando así un serio problema de fragmentación (Segura *et al.* 1997).

En la R.A.A.S., la matriz agrícola tiene a menudo una heterogeneidad espacial y temporal alta, como respuesta de los campesinos a las complejas condiciones sociales y económicas (Griffith 2000). La realidad local les ha llevado a aprovechar las tierras, empleando sistemas de manejo que muchas veces no se ajustan a la capacidad de regeneración del sistema (Kolmans y Vásquez 1996), causando alteraciones que inciden directamente sobre el tiempo y las rutas que tomará el proceso de recuperación del bosque (Ferguson 2001). Como consecuencia de esta transformación, muchos ecosistemas y especies se encuentran representados exclusivamente en paisajes dominados por prácticas agrícolas o paisajes rurales y su conservación depende del tipo de manejo que se le dé a tales paisajes (Bennett 2004).

Estudios sobre la evolución de la actividad agrícola (Segura *et al.* 1997, Piera 1997, Ramírez y Enríquez 2003) han confirmado que, al igual que en el pasado, áreas extensas de agricultura en el neotrópico están siendo actualmente abandonadas, creando así la posibilidad para que el bosque se regenere.

Ferguson (2001), destaca que es vital para la agricultura, la restauración y la conservación, entender los efectos de la agricultura sobre la diversidad biológica y, considera que los efectos a largo plazo, de este tipo de perturbación sobre los bosques

varía según la escala, intensidad y duración. Indica además, que muy pocas veces se han comparado los efectos de las diferentes estrategias agrícolas una contra otra, sugiriendo la necesidad de estudiar dicho proceso.

Existen varios estudios que describen lo que pasa con la vegetación una vez que un área es abandonada después de una práctica agrícola (Fritz 1979, Forman 1995, Holdridge 1996, Ferguson 2001, Griffith 2004), sin embargo se conoce muy poco a cerca de lo que ocurre con otros organismos, especialmente animales, que colonizan dichas áreas.

Actualmente existe mucho interés entre científicos que se dedican a la conservación, en desarrollar métodos rápidos para medir la biodiversidad de un área y monitorear cómo esta cambia después de diferentes tipos de perturbación. La idea es encontrar grupos taxonómicos que sirvan de “indicadores” para medir cambios en la diversidad (Knaebel 1998)<sup>1</sup>.

Armbrecht y Ulloa (1999) señalan que los insectos han demostrado ser un grupo ideal para monitoreo de comunidades con fines de planificación para su manejo conservacionista, ya que son fáciles de muestrear debido a su abundancia y ubicuidad.

Con relación a las Formicidae, Majer (1983) resalta algunos atributos como riqueza, abundancia, especialización, facilidad de muestreo, respuesta a cambios medioambientales, fidelidad ecológica, conocimiento taxonómico, importancia funcional en un ecosistema y asociación estrecha con otras especies, que contribuyen a proponer a estos insectos como un grupo indicador. Por otro lado, Roth *et al* (1994) examinaron los cambios en la diversidad de hormigas en diferentes agroecosistemas comparados con bosque primario y, encontraron que las hormigas pueden ser indicadores útiles en la planificación del uso de la tierra y el manejo de hábitats.

Según Perfecto *et al* (1999) no hay duda que las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) son uno de los insectos más importantes en la naturaleza, especialmente en zonas tropicales. Representan un componente importante en casi todos los ecosistemas, incluyendo los agroecosistemas, por lo que su estudio se torna imprescindible (Perfecto y Castañeiras 1998). Son necesario estudios locales que proporcionen información a cerca de la diversidad y dinámica de las comunidades de estos organismos en sistemas perturbados antropogénicamente por un fenómeno creciente: la agricultura.

Este estudio aporta información a cerca de la estructura de la comunidad de hormigas en parcelas abandonadas después de cuatro estrategias agrícolas practicadas en el atlántico de Nicaragua: la agrosilvicultura, tumba y quema (o roza tumba y quema), el pastoreo extensivo y el monocultivo intensivo. Se comparan sitios que representan un gradiente de intensificación según su manejo, con el fin de conocer el impacto que causan dichas practicas sobre la biodiversidad local, específicamente sobre la fauna de hormigas y, a su vez proponer parámetros ecológicos o grupos de especies indicadoras del grado de perturbación o recuperación de dichos sistemas.

---

<sup>1</sup> Knaebel, S. 1998. Las mariposas como especies indicadoras. Universidad de Michigan. U.S.A. Informe de Campo, Curso Biodiversidad. CIDCA.

## 2 Antecedentes

La Costa Atlántica de Nicaragua, posee suelos que se ubican dentro de la categoría IIV o suelos de vocación forestal (Holdridge 1997), sin embargo, el crecimiento de la población y las grandes corrientes de migración, en su mayoría de campesinos que deben abandonar sus tierras empobrecidas por prácticas tradicionales inadecuadas, como el pastoreo extensivo, aumenta la presión sobre los recursos naturales. La necesidad les obliga a utilizar las tierras sin tomar en cuenta su aptitud, dándoles usos que no son necesariamente los mas adecuados, sino los que el campesino sabe darles.

La expansión de la ganadería en los años '50, trajo consigo la reducción de la cobertura boscosa, principalmente en la región Central y Atlántica del país (Pasos *et al.* 1994). Grandes extensiones de tierras de vocación forestal se convirtieron en pastizales, al mismo tiempo, la introducción acelerada de la actividad algodonera y cañera en el pacifico del país, obligó a una buena parte de la población a migrar hacia la frontera agrícola en la zona atlántica. El crédito fue volcado hacia las actividades de agroexportación, creándose instituciones especializadas en fomentar y desarrollar la actividad ganadera, así como el monocultivo de caña y algodón (Segura *et al* 1997).

El flujo de campesinos hacia la frontera agrícola se dirigió especialmente a las tierras del trópico húmedo en el atlántico sur. Ahí, las actividades agropecuarias ocasionaron severos daños a los recursos naturales por haber trasladado prácticas productivas adecuadas a tierras con potencial agropecuario a suelos de vocación forestal.

Entre las formas de agricultura más comunes en la región y en orden de intensificación tome los sistemas agroforestales como la forma de agricultura más conservadora, manejados hace varias décadas por comunidades criollas y, que proveen al campesino alimentos, techo y medicinas sin alterar dramáticamente el ecosistema. En la parte intermedia de este gradiente ubique la agricultura de tumba y quema, la cual después de tres años de cultivo el área es abandonada y parcialmente recuperada; mas allá se encuentran los pastizales<sup>2</sup>, muchos de ellos con poca o ninguna carga ganadera y al final del gradiente de intensificación están los monocultivos de caña de azúcar que involucran el uso de arado, herbicidas y la quema anual del sitio.

Si bien la ganadería y la agricultura son actividades productivas crecientes en la Costa Atlántica de Nicaragua, sus efectos negativos para el suelo y la biodiversidad se hacen cada vez más evidentes. El estudio de la sucesión así como la forma y el ritmo a que ocurrirá esta en áreas abandonadas después de una práctica agrícola, se torna igual de importante que el estudio de los fragmentos boscosos mismos.

Dada esta realidad, es urgente encontrar mecanismos fáciles y efectivos para evaluar el impacto que tienen diferentes prácticas agrícolas sobre la biodiversidad y la funcionalidad del sistema. Majer (1983) resalta características de las Formicidae, que permite proponerlas como un importante instrumento para la evaluación de zonas intervenidas, al mismo tiempo, juegan un papel importante en el proceso de estructuración de las comunidades vegetales.

---

<sup>2</sup> Los sistemas de pastizal están clasificados como mas intensivos que los de tumba y quema ya que cubren áreas mas extensas, muchos de ellos con poca o ninguna cobertura boscosa, sufren el pisoteo del ganado y en su mayoría son sistemas permanentes.

En la R.A.A.S. existen estudios de las comunidades de hormigas que se encuentran en los fragmentos de bosque secundario (Perfecto 1997, 1998,1999<sup>3</sup>), sin embargo, no se han realizado estudios ni taxonómicos, ni ecológicos a cerca del ensamblaje que forman las comunidades de hormigas en sistemas manejados.

En este estudio se describe la estructura de las comunidades de hormigas que colonizan áreas abandonadas después de diferentes estrategias de producción y que a la vez representan un gradiente de intensificación agrícola, se calculan índices para estimar su abundancia así como los requerimientos de hábitat de especies especialistas, simultáneamente se genera el primer listado de especies de hormigas presente en sistemas intervenidos de la R.A.A.S.

---

<sup>3</sup> Perfecto, I. Universidad de Michigan. U.S.A. Serie de Informes de Campo, Curso de Biodiversidad. CIDCA

### 3 Justificación

La R.A.A.S. ha sufrido un proceso acelerado de degradación y fragmentación de sus hábitats. El reciente paisaje creado por el avance de la frontera agrícola, es un mosaico de sistemas de pastizal, tacotales, monocultivos, franjas de vegetación riparia y pequeños parches de bosque secundario (Mapa de Vegetación Nacional, MARENA - CBA 2002).

Esta dinámica agrícola ha hecho del sitio un ambiente heterogéneo caracterizado por áreas con diferentes niveles de intensificación agrícola. Sin embargo, el impacto de dichas prácticas agrícolas sobre los factores bióticos y abióticos es poco conocido. Existen estudios sobre el efecto en los suelos y las plantas una vez que estas parcelas son abandonadas (Harcombe 1980, citado por Mackey et al 1991; Ferguson 2001, Griffith 2004), mientras que poco se conoce sobre el impacto de esta perturbación sobre la fauna. Entre los efectos inmediatos se puede citar, la reducción de la diversidad faunística, la alteración de características ecológicas como la riqueza y abundancia relativa, así como cambios en las relaciones de la comunidad, no obstante el efecto sobre diferentes animales, debe ser objeto de estudios específicos, en aras del mantenimiento de la biodiversidad que aun mantienen los ecosistemas tropicales (Ramírez y Enríquez 2003)

Dentro de este contexto, es difícil o casi imposible, estudiar vastas comunidades con una compleja composición de especies, siendo más bien necesario encontrar métodos rápidos y eficientes que indiquen el efecto de la actividad agrícola sobre determinados grupos. Para ello es necesario identificar taxones que nos permitan visualizar y medir los cambios en la diversidad y que a su vez sean indicadores “baratos”, es decir, que brinden resultados apreciables en tiempos breves y con demandas económicas mínimas. A diferencia de indicadores mas bien costos y no siempre eficaces como lo vertebrados, los insectos se están convirtiendo en los organismos más prometedores (Rosenberg *et al* 1986, citado por Fernández *et al* 1996)

Con este estudio, se pretende describir la estructura de las comunidades de hormigas que forrajean en el suelo de áreas con diferentes niveles de intensificación agrícola y predecir a partir de ello, la forma y el tiempo que tomara para que la comunidad de hormigas se recupere, una vez que estas áreas son abandonadas. Con esta información también podríamos inferir el impacto de estas estrategias sobre la riqueza, composición o cambios en las relaciones de la comunidad, tal como lo proponen Roth *et al* (1994), Armbrrecht y Ulloa (1999) y Majer (2000)

Algunos autores (Kolmans, y Vásquez 1996; Perfecto, *et al* 1999) sugieren que si se conoce la estructura de las comunidades de hormigas, en este caso las que se encuentran en sitios con diferentes grados de intensificación agrícola, pueden proveer de forma preliminar datos que permitan adoptar decisiones de manejo o promover estrategias que se adecuen a la zona y sean menos perjudiciales al ambiente.

Por otro lado, la falta de estudios taxonómicos y ecológicos a cerca de la mirmecofauna en la Costa Atlántica de Nicaragua, y en particular en la R.A.A.S., hace de este estudio un importante aporte para la ciencia y la biología de conservación a nivel local y regional, ya que se registran nuevos reportes para la fauna entomológica del país.

En términos globales y de cara a la conservación de la diversidad biológica, este estudio nos permitirá, a partir del estado de las poblaciones de hormigas, tener un panorama general a cerca de la calidad de la matriz que rodea los parches de bosque en la R.A.A.S., principio importante para el éxito de iniciativas de conservación como los corredores o trampolines biológicos (CBA en el caso particular del Atlántico nicaragüense), que pretenden diseñar políticas de preservación de zonas y estrategias de monitoreo.

Finalmente, esta investigación servirá de base para estudios posteriores a cerca de la biodiversidad regional y su estado de conservación, elemento indispensable para dirigir el manejo de los recursos naturales en camino a la sostenibilidad.

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo General:**

Caracterizar la estructura de las comunidades de hormigas que forrajean en el suelo, en términos de riqueza, abundancia, composición y rareza de especies, en sitios con distintos niveles de intensificación agrícola en la Región Autónoma Atlántico Sur, Nicaragua.

Describir como cambia la comunidad de hormigas del suelo una vez que las áreas agrícolas son abandonadas.

Proponer un método rápido y eficiente para medir la calidad de ecosistemas intervenidos usando las comunidades de hormigas como bioindicadores.

### **4.2 Objetivos Específicos**

Identificar hasta morfoespecie las hormigas colectadas.

Describir el ensamblaje que forman las comunidades de hormigas, en términos de riqueza y abundancia, en cada uno de los tratamientos.

Comparar las comunidades de hormigas entre los diferentes sitios y tratamientos y ver si la estructura de estas cambia a través del tiempo.

Relacionar la riqueza y abundancia de las comunidades de hormigas con las variables vegetales presentes en cada sitio.

Determinar la similitud entre los diferentes tratamientos en función de la estructura de las comunidades de hormigas.

Identificar las especies o grupo de especies de hormigas exclusivas para cada tipo de tratamiento.

Describir las características de las morfoespecies de hormigas más comunes y las más raras encontradas en los sitios de estudio.

## **Hipótesis**

### Hipótesis General 1

La comunidad de hormigas es diferente a lo largo del gradiente de intensificación agrícola.

### Hipótesis 1<sup>a</sup>.

La diversidad de hormigas disminuye con el gradiente de intensificación.

### Hipótesis 1b.

La estructura de la comunidad de hormigas se simplifica a lo largo del gradiente de intensificación agrícola.

### Hipótesis General 2

La recuperación de la comunidad de hormigas después del abandono de un área agrícola depende del tipo de agricultura que se practicó antes del abandono.

### Hipótesis 2<sup>a</sup>.

El aumento en la riqueza de especies de hormiga será más rápido después del abandono de sistemas menos intensivos que después de sistemas más intensivos.

## 5 Revisión de Literatura

### 5.1 FRAGMENTACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

La actividad antropogénica amenaza seriamente los bosques naturales del mundo. La Costa Atlántica de Nicaragua, considerada una de las áreas de mayor diversidad biológica del país (Vandermeer, *et al.*1990a), no es la excepción, la fragmentación de sus hábitats es evidente, debido, principalmente, al avance de la frontera agrícola (Pasos *et al.*1994). Sin embargo, aún cuando la pérdida de cobertura vegetal es la parte más visible del problema, su impacto es apenas reconocido como factor causal de otra cadena de complicaciones.

Para Armbrecht y Ulloa (1999), comprender el problema de la fragmentación de hábitats continuos ha sido uno de los grandes retos de la biología de conservación. Es necesario conocer los factores que influyen sobre la biodiversidad que habita en los fragmentos (y en general en el sistema fragmentado), así como la dimensión de los fragmentos, la distancia y el manejo de la tierra alrededor de estos. Este último factor ha recibido mucha atención, y muchos autores argumentan que para la biodiversidad total del sistema, el manejo de la matriz juega un papel tan importante como el de los fragmentos mismos (Harvey, C. 2004. Biodiversity in the agricultural matrix. CATIE, en prensa).

Lord y Norton (1990) definen la fragmentación como la “interrupción de la continuidad” en cualquier escala, siempre y cuando la continuidad sea importante para el funcionamiento de los ecosistemas. Esta afecta profundamente la estructura y funcionamiento de los ecosistemas alterados, con declinación tanto en el número de especies así como en la diversidad de los fragmentos remanentes. Se ha comprobado que la discontinuidad de los hábitats naturales no solo altera la riqueza de las especies sino la composición original de las mismas y sus hábitos. En el amazonas se demostró que bajo condiciones de fragmentación de las selvas, la comunidad de escarabajos-coprófagos reduce su riqueza de especies, expande sus poblaciones y se concentran individuos de baja talla (Klein1989)

Otro tema de importancia fundamental es la evolución del sistema en el tiempo bajo diferentes presiones socioeconómicas: en unos casos existe una tendencia hacia la intensificación, en otros hacia el abandono y la sucesiva restauración natural del sistema. En esta fase también el tipo de manejo juega un papel esencial: un sistema de agricultura intensiva, con mucho empleo de plaguicidas y fertilizantes químicos, necesita más tiempo para regenerarse que un sistema más sustentable, por ejemplo de agricultura orgánica o un sistema agroforestal. El estudio de los sistemas naturales fragmentados pues, necesita la comprensión de los procesos que intervienen a nivel de la matriz, sea desde una perspectiva espacial, como temporal, a fin de actuar de manera sostenible, tanto en los fragmentos como en las áreas antrópicas.

Esta investigación tiene como fin estudiar el impacto y los cambios de las comunidades de hormigas en sitios abandonados después de prácticas agrícolas con distintos niveles de intensificación, entendiendo “intensificación” como la simplificación de la diversidad de un área y a partir de ello, sugerir formas de manejo que promuevan el mantenimiento de la biodiversidad en la Costa Atlántica de Nicaragua, usando la comunidad de hormigas como grupo indicador.

## **5.5 El Rol Ecológico de la Biodiversidad en la Agricultura**

La biodiversidad natural presta servicios al ecosistema más allá de la producción de alimentos, fibra, combustible e ingresos. El control del microclima local, la regulación de procesos hidrológicos y el control biológico de plagas, son entre otros los beneficios que ofrece el mantenimiento de la biodiversidad. Cuando estos servicios se pierden por la simplificación biológica, los costos económicos y ambientales pueden ser significativos (Altieri 1992).

Según Armbrrecht y Ulloa (1999), el cambio en el uso del suelo provoca la fragmentación de los bosques y esta a su vez conlleva serias implicaciones para la conservación de la diversidad biológica; consecuentemente pueden ocurrir cambios en las relaciones de la comunidad y la pérdida de especies claves.

De igual manera, Vandermeer *et al.* (1990) consideran que la actividad agrícola afecta negativamente la biodiversidad tropical, no obstante señalan que no toda agricultura es simplemente "agricultura" sino que dentro de ésta existe un espectro de intensificación que va desde modelos muy conservacionistas (e.g. sistemas agroforestales, cafetales rústicos) hasta los sistemas de monocultivos industrializados con varios niveles intermedios, por lo que es primordial distinguir entre ellos a la hora de diseñar estrategias para la conservación de la biodiversidad. Por otro lado, consideran que es importante entender los detalles de las perturbaciones, tanto naturales como antrópicas, para entender más ampliamente cómo funciona un ecosistema, y entender como funciona un ecosistema es clave si se quiere aprovechar los recursos del mismo.

Armbrrecht (2001) destaca que los artrópodos, particularmente los insectos, representan el 90 % de las especies en los trópicos y representan un componente importante en el funcionamiento de casi todos los ecosistemas, incluyendo los agroecosistemas. Añade que la diversidad de estos organismos podría beneficiar al agricultor por los servicios que esta puede brindar (e.g. control de plagas), por lo que es importante conocer la relación que existe entre la biodiversidad de artrópodos (particularmente hormigas) y la calidad del hábitat donde se encuentran.

### **5.1 Perturbación Agrícola y sus Efectos sobre la Comunidad de Hormigas**

La fragmentación del hábitat, producto de la rápida expansión agrícola, afecta directamente la dinámica de las poblaciones naturales, estructura de comunidades y, principalmente, la estructura espacial del ambiente. (Marini y Martins 2001).

Esta problemática también abarca a la fauna del suelo, dentro de la cual las hormigas son un componente importante. Rojas y Cartas (1992), por ejemplo, encontraron una relación inversa entre el número de géneros de hormigas y la perturbación del hábitat, con los mayores valores en los tipos de vegetación natural (33 a 44 géneros) y los menores en sitios perturbados (5 a 26 géneros). Igualmente, Bandeira y Souza (citados por Mackey *et al.* 1991) señalan efectos drásticos en las poblaciones de hormigas, termitas y ácaros en áreas taladas y reutilizadas como plantaciones de pinos en la Amazonía brasileña.

Los datos anteriores señalan que la perturbación del hábitat tiene un efecto evidente en las poblaciones de hormigas. Dada la especificidad de las hormigas a vivir preferentemente en el suelo de un determinado tipo de vegetación, la pérdida de la vegetación original tiende a disminuir de manera importante las áreas de distribución de las especies. Esto es particularmente cierto para las hormigas que anidan en la hojarasca o en la interfase hojarasca – suelo.

Así pues, el estudio del efecto que tiene la actividad agrícola sobre las poblaciones de insectos, particularmente de hormigas, es importante, ya que estos organismos pueden servir para estrategias de recuperación y conservación de áreas críticas.

En la R.A.A.S. son cuatro las prácticas agrícolas más comunes y sobre las cuales se centra este estudio: los sistemas agroforestales al frente de las comunidades criollas, los parches de tumba y quema, los pastizales extensivos con poca carga ganadera, y las plantaciones de caña de azúcar como monocultivo.

### **5.1.1 Agroecosistemas o Sistemas Agroforestales**

Grandes extensiones del paisaje terrestre han sido transformadas en sistemas productivos; 95% del área total es manejada por los humanos y sólo el 5% se encuentra en estado natural (reservas y parques naturales). Sin embargo, se conocen mejor los ensamblajes de organismos de las áreas conservadas, que aquellos asociados a ecosistemas antrópicos (Ramírez y Calle 2001).

Perfecto, *et al.* (1996) afirma que dentro de la frontera agrícola que se expande en los trópicos, se encuentra una variedad de pequeños parches forestales manejados y sistemas agrícolas tradicionales que caben en un sistema intermedio de intensificación agrícola, ya que proporcionan refugio a muchos organismos de bosque. Con frecuencia estos parches son pasados por alto como áreas potenciales para conservar la biodiversidad.

Aunque los sistemas químicamente intensivos de monocultivos pueden encajar bien dentro de la percepción de sistemas de poca diversidad, muchos otros agroecosistemas se caracterizan por una gran diversidad de especies, como es el caso de las fincas agroforestales en la R.A.A.S.

De acuerdo a Kolmans y Darwin (1996) es difícil determinar el rendimiento potencial de la agroforestería, dado que está determinado por múltiples factores, como las mejoras microclimáticas, la distribución espacial, retención de agua etc., lo que hace que muchos de los cálculos sean sólo estimados.

Algunas de las interacciones en los agroecosistemas pueden ser utilizadas para inducir efectos positivos y directos en el mantenimiento de la biodiversidad y en la regeneración, sin embargo, el aprovechamiento de estas interacciones involucra el diseño y manejo del agroecosistema y requiere del entendimiento de las numerosas relaciones entre suelos, microorganismos, plantas, insectos y otros invertebrados.

Recientemente se ha enfocado la atención hacia los agroecosistemas, con especial interés en determinados grupos de artrópodos (Perfecto *et al.*, 1996). Las hormigas, uno de los grupos más importantes en ecosistemas naturales y alterados (Majer 1983;),

cumplen una variedad de funciones ecológicas, ya que utilizan diversos estratos de nidificación, tienen un amplio espectro de alimentación y se asocian con numerosas especies de plantas y animales (Buckley, 1982; Beattie, 1985). Las hormigas, también han sido utilizadas como indicadores de riqueza en sistemas agroforestales (Perfecto y Castañeiras 1998).

Así por ejemplo, Roth *et al.* (1994) encontraron que en ecosistemas poco modificados y sistemas agroforestales sin aplicación de herbicidas (bosque primario, cultivos de cacao abandonados y cultivos en producción), las comunidades de hormigas son similares entre sí, en comparación con plantaciones de plátano con alta aplicación de agroquímicos, donde la riqueza de hormigas es menor y está constituida por un ensamblaje de especies diferente.

Por otro lado, Ramírez y Enríquez (2003) contrastaron la riqueza y diversidad de hormigas en un fragmento de bosque seco versus dos sistemas silvopastoriles y demostraron que el cuidado que se le da a cada ecosistema está influenciando directamente las comunidades de hormigas. Los valores de riqueza, diversidad y especies exclusivas fueron diferentes entre los tres sistemas, sin embargo estos índices fueron altos para todos los sistemas.

### **5.1.2 Tumba y Quema**

Es practicada en muchas partes del trópico húmedo (Myers 1984) y se conoce también como agricultura migratoria. Consiste en el aclareo de áreas forestales durante la estación seca, que después de ser quemadas, ayudan a controlar las plagas y enfermedades. Es un método barato, rápido y eficiente a corto plazo; pero que extrae los nutrientes del suelo y disminuye la fertilidad, provocando el abandono del área y el desmonte de nuevos sitios.

Es frecuente ver en las comunidades de la R.A.A.S sistemas de barbecho con plantas de regeneración natural y una agricultura de tala y quema, que viene intensificando la desertificación de grandes áreas de bosque<sup>4</sup>. En este sistema, períodos de cultivos cortos (1 a 2 años) alternan con períodos de barbecho largos (6 años o más) durante los cuales, los procesos sucesionales de mejoramiento del suelo, convierten nuevamente el sitio en un lugar apto para renovar los cultivos agrícolas (Kolmans y Vásquez 1996).

La agricultura migratoria es practicada en suelos que no pueden dedicarse permanentemente a la agricultura tradicional, a causa de la topografía, la baja fertilidad, el tipo de suelo o una combinación de estos factores. Sin embargo, la creciente presión sobre el suelo, ha dado lugar a períodos de barbecho más cortos y el uso más intensivo del mismo.

Entre los factores que sobresalen en estos sistemas dinámicos, se encuentra el grupo de los insectos, y dentro de éstos, los más abundantes y que pueden indicar el estado de salud del mismo son las Formicidae (Roth *et al.* 1994). En estos sistemas, la gran cantidad de materia orgánica y la disponibilidad de otros recursos (espacio, luz, humedad, etc.), hacen del área un sitio óptimo para ser colonizado por diferentes

---

<sup>4</sup> J. Vandermeer. 2000. Conversación personal. Universidad de Michigan, Ann Arbor, MI.

especies de hormigas, las cuales provocan cambios en las relaciones de las poblaciones y el clima local en general.

Pese a lo anterior, es muy poco lo que se conoce sobre los ensamblajes de hormigas en los sistemas de tumba y quema, con excepción de los estudios de Mackey *et al* (1991) sobre el efecto del fuego en la comunidad de hormigas, en una selva tropical en Chiapas, quienes encontraron que la riqueza específica del sitio después de un mes de quemado disminuyó drásticamente (32 especies) en comparación con la selva intacta, que tuvo 71 especies. Además del efecto inmediato, considero importante conocer cómo y en cuánto tiempo se va recuperando la fauna de hormigas una vez que estos sistemas son abandonados.

Así pues, la escasez de estudios que hablen de la recuperación de la comunidad de hormigas a través del tiempo en parcelas de tumba y quema, la dinámica particular que presentan y lo común que son en todo el trópico húmedo y en particular en la R.A.A.S., el estudio de los factores y mecanismos que influyen en estos sistemas se torna trascendental para el manejo de los mismos.

### 5.1.3 Pastizales

Además del efecto negativo de la disminución de los hábitats del bosque tropical, existe una gran preocupación sobre la transformación que han sufrido las fincas tradicionales, que han pasado de utilizar sombra de árboles a implementar monocultivos de nuevas variedades que pueden modificar drásticamente el ambiente local.

Los bosques centroamericanos han sido sustituidos en su más alto porcentaje (más del 50%) por pastizales (Pasos *et al* 1994). En el Atlántico nicaragüense, existen grandes extensiones de pastizal con poca o ninguna carga ganadera, pues muchos campesinos ven en este cultivo, sistemas “mejorados” que le dan un valor agregado a la tierra, por lo que sus fincas están conformadas básicamente por pasto<sup>5</sup>.

Paradójicamente, la evolución de los indicadores de la ganadería, presenta importantes retrocesos. Pasos *et al*. (1994) indican que existe una disminución en la carga animal de 0.98 a 0.91 cabezas por hectárea de 1980 a 1990; dato que se corresponde con lo encontrado en las fincas alrededor de Bluefields, en donde cada productor tiene su área de pasto “preparada para cuando compre ganado” por lo que, existen vastas extensiones de pasto que no están bajo uso.

Pasos (1994) indica que por cada dos hectáreas que se deforestan en los trópico para ganadería, al menos una está siendo abandonada; por lo que es necesario estudiar el efecto que tiene este tipo de estrategia agrícola sobre la biodiversidad del sitio, particularmente sobre la mirmecofauna del suelo, uno de los organismos que responde rápidamente a esta perturbación, y a partir de ello proponer prácticas de manejo y restauración acordes al estado actual del suelo.

Algunos estudios (Estrada y Fernández 1999; Armbrrecht 2000) han demostrado que el ensamblaje de las comunidades de hormigas cambia cuando ocurre algún tipo de

---

<sup>5</sup> Enriquez, A. 2000. conversación personal. Productor de la cooperativa la Unión, municipio de Bluefields.

perturbación, por ejemplo la transformación del bosque a un pastizal, pero a la vez, la composición de este ensamblaje puede indicar el nivel de intensificación del mismo. En La Mancha, Veracruz; Rojas (datos inéditos) comparó la riqueza específica de un bosque secundario versus un pastizal derivado de éste y, encontró que la riqueza de especies en el pastizal fue reducida severamente en un 44.7%. Rojas cita que la perturbación ha provocado además, cambios en la composición específica, registrando en el pasto solamente 13 especies de las 47 que originalmente habían en el bosque.

Estrada y Fernández (1999) también destacan que existe una variedad de pastizales, en los que cada combinación permite el establecimiento de determinadas especies. Encontraron que la riqueza de hormigas en sistemas abandonados después de pastizales de diferentes años (3 hasta 20 años), esta relacionada con el tiempo de abandono, la heterogeneidad vegetal y la historia y ubicación del sitio.

### **5.1.4 Plantaciones de Caña de Azúcar**

En los años 50 las grandes plantaciones de caña de azúcar ubicadas en la comunidad de Kukra Hill, al noreste de la ciudad de Bluefields, representaron una de las actividades agrícolas más importantes de la zona y a la vez una simplificación de la biodiversidad local.

La conversión de áreas boscosas a zonas cultivadas, implica la reducción de la biodiversidad y alcanza una forma extrema en estos monocultivos. El resultado final es un ecosistema artificial que requiere de constante intervención humana, la cual ocurre en forma de insumos de agroquímicos, los que, además de aumentar los rendimientos, trascienden en una cantidad de costos ambientales y sociales indeseables (Altieri 1976).

Para Kolmans y Vásquez (1996) el monocultivo limita la diversidad vegetal y debido a que la mayoría de los cultivos son especies exóticas, realmente no ha transcurrido el tiempo necesario para que se desarrolle una fauna natural que coexista con estos. De acuerdo a Altieri (1976) en estos ecosistemas se reducen las fuentes de alimento y sitios de invernación y abrigo de los enemigos naturales.

Estudios recientes, sobre la diversidad de hormigas en plantaciones de caña de azúcar en Cuba (Loddo, *et.al* 2001), demostraron que estos sistemas intensivos, ofrecen muy pocos recursos y hábitat para la colonización de especies animales, la comunidad de formicidae está compuesta de una pocas especies, en su mayoría generalistas o de hábitat muy perturbados. En el estudio se encontraron 18 especies de hormigas, destacándose 4 especies reportadas como controles naturales de la principal plaga de la caña *Diatraea saccharalis* (Fab). Lo cual indica el papel primordial que desempeñan las hormigas en aun en estos agroecosistemas altamente alterados.

Es importante resaltar que aun cuando solo se considera este tipo de sistema, existen varios niveles de "intensificación" dentro del mismo, por lo que es necesario tomar en cuenta el área que cubre la plantación, la cercanía con un área de bosque, el tiempo de uso, las cantidades y el tipo de fertilizante que se emplea, la matriz que rodea el área, entre otros factores. Condición importante a la hora de analizar y tomar decisiones a cerca del manejo de dichas áreas.

Loddo, *et. al* (2000), muestrearon la comunidad de hormigas en parcelas con diferentes tipos de manejo dentro de una misma plantación de caña de azúcar, encontrando diferencia en la diversidad entre los hábitats considerados. La mayor riqueza de especies se encuentra en campos de retoño cosechados verde de forma manual, lo que evidencia que la disponibilidad de hojarasca, la humedad y el no uso de maquinaria permiten el establecimiento de especies de hormigas que de otra manera no estarían en el sistema.

### **5.3 SUCESIÓN ECOLÓGICA**

Según Holdridge (1996), existen varios tipos de sucesión, y dependen de si el desarrollo cubre la serie completa desde la litosfera desnuda o el agua, o si comienza repoblando unidades reducidas de una comunidad ya existente. En el primer caso, el proceso se conoce como sucesión primaria y en el segundo como sucesión secundaria.

La sucesión secundaria, a su vez, puede tener diferentes recorridos, dependiendo de donde parte el proceso, por ejemplo las rutas que sigue un área que ha sido ocupada por una práctica agrícola en particular, será distinto del recorrido que tendrá una parcela abandonada después de otra práctica distinta.

De acuerdo con Ferguson<sup>6</sup> (2000) son varios los factores que determinan el ritmo al que se pasa de una etapa a otra en el proceso de sucesión secundaria, así como la estructura y composición que tendrá la comunidad al final de dicho proceso. Entre los factores más importantes están: la matriz antropogénica (sistemas manejados que rodean los parches de bosque), la fauna del suelo, el banco de semillas y el grado de deterioro en que se encuentra el suelo, así pues, si los suelos han sido muy deteriorados, puede retardarse bastante el desarrollo de la comunidad, hasta que ésta alcance las condiciones originales del bosque.

Holdridge (1996) explica que cuando las áreas aclaradas son extensas, entra un nuevo factor a ser considerado: la disponibilidad de semillas. El cambio principal en el patrón de la sucesión se da cuando el bosque está tan distante, que sólo unas pocas semillas están disponibles para suplir las necesidades de las últimas etapas de la sucesión. Esto puede conducir a un cambio en el patrón de la sucesión, con el desarrollo de una serie de especies intermedias, distintas de las que pueden encontrarse en un claro pequeño, rodeado de bosque.

En América tropical, los estudios sobre la sucesión ecológica son escasos y paradójicamente importantes para el diseño de estrategias de manejo que maximicen los beneficios que puede proporcionar determinado sistema<sup>7</sup>.

#### **5.3.1 Sucesión Secundaria**

La sucesión secundaria es muy frecuente y se ha visto acrecentada por actividades antropogénicas. Según Holdridge (1996) esta puede notarse mejor en claros agrícolas que han sido abandonados.

---

<sup>6</sup> Ferguson, B. 2000. Referencias bibliográficas. Universidad de Michigan. E.U.A. (Comunicación personal).

<sup>7</sup> Ver Nota al pie 8.

En las comunidades de la R.A.A.S se presenta un ejemplo perfecto de este mosaico de ecosistemas que actualmente consiste de fragmentos de bosque (huracanado o quemado tras los incendios de 1998), rodeados de un mar de ecosistemas sometidos a manejo de uno u otro tipo.

Entre los pocos estudios sobre sucesión ecológica después de diferentes prácticas agrícolas, destacan las investigaciones realizadas por Ferguson (2000) y Griffith (2004) reconocidas porque cubren un gradiente completo de intensificación, desde la agroforestería tradicional, los sistemas de tumba y quema, pasando por el pastoreo hasta el monocultivo intensivo, en áreas de la costa atlántica de dos países del neotrópico: Guatemala y Nicaragua, respectivamente.

Ambos estudios encontraron que los modelos y el ritmo de la sucesión del bosque dependían de la práctica agrícola de la que parte el proceso. Sin embargo, es preciso resaltar que Ferguson (2000) encontró proporciones de sucesión consistentemente superior en tumba y quema y agrosilvicultura que en pasturas o monocultivo, mientras que en el estudio de Griffith (2004) las proporciones sucesorias fueron más bajas en agrosilvicultura y superior en el pasto, un resultado que podría obedecer a las estrategias específicas de producción en cada sitio.

Dada la ubicación de las parcelas del estudio de Griffith (2004) y los objetivos del presente estudio, me centrare en los resultados encontrados por este autor.

Griffith señala que tres de las cuatro variables sucesorias: área basal, densidad y riqueza de especie, demostraron que la regeneración fue más rápida después del sistema de tumba y quema, intermedio después del pastizal y agrosilvicultura, y mucho más lenta después del monocultivo. En cambio, el crecimiento en altura no fue significativamente diferente entre las prácticas agrícolas. La acumulación del área basal fue más alta en el sistema de tumba y quema, discontinúa en pasto y agrosilvicultura y más bajo en el monocultivo, aunque la agrosilvicultura no fue significativamente diferente del monocultivo.

La acumulación de individuos (densidad) fue superior en tumba y quema y agrosilvicultura comparado con el monocultivo, mientras que el pasto no fue diferente de cualquier otra práctica. En los sitios de monocultivo, la densidad permaneció cerca de cero a lo largo del estudio.

La acumulación de especies estimada a través del tiempo fue más alta en el sistema de tumba y quema, discontinua en agrosilvicultura y pasto, y más bajo en el monocultivo. La acumulación del número observado de especies demostró el mismo patrón. A lo largo de todo el estudio se identificaron 97 familias, 114 géneros y 130 especies.

En todos los sitios, la variación en las variables sucesorias se explicó más por el tratamiento agrícola que por las características del sitio. El ANOVA que compara la sucesión entre las prácticas agrícolas, alcanzó diferencias significativas, mientras el coeficiente de correlación que compara la sucesión con siete características del sitio fue insignificante. A pesar del efecto pequeño de las características del sitio, algunas de ellas parecen explicar la variación dentro de cada práctica agrícola.

Griffith (2004) concluyo que el impacto ecológico de diferentes prácticas agrícolas depende grandemente del grado de intensificación. Afirma que el reemplazo de la agricultura tradicional por agricultura industrial moderna es probablemente más destructivo a la biodiversidad a corto y largo plazo que la conversión de bosque original a la agricultura tradicional.

### **5.5.1 Funciones Ecológicas de las Hormigas y el Proceso de Sucesión Secundaria**

Las comunidades de insectos juegan papeles importantes dentro del proceso de sucesión, pero como es el caso de muchos organismos en la naturaleza, es difícil hacer declaraciones categóricas sobre el efecto de las hormigas en el ecosistema (Perfecto *et al* 1999).

Se sabe que muchas plantas pioneras desarrollan estructuras para establecer mutualismo con hormigas y defenderse de herbívoros y enredaderas (Piera, 1997); sin embargo se desconoce si el éxito de estas especies, que son a su vez las que garantizan la llegada de las especies de bosque maduro, se debe a su relación mutualista con hormigas o a otros factores externos o internos.

No se puede afirmar que el efecto de las hormigas en el agroecosistema es exclusivamente positivo. Primero, se esta hablando de una comunidad compleja que contiene muchas especies que interactúan entre ellas y con otros organismos, y que pueden tener funciones diferentes y hasta contradictorias en el ecosistema. Segundo, aún cuando se enfoca en una sola especie, frecuentemente se encontrará que esta tiene efectos positivos y negativos dependiendo de diferentes circunstancias<sup>8</sup>.

Las hormigas son reconocidas por el daño que causan más que por sus relaciones beneficiosas con las plantas. Por ejemplo, en zonas tropicales, cuando se les menciona a los agricultores las hormigas, en lo primero que piensan es en las hormigas zompopo (*Atta sp*), las cuales son plagas importantes en algunos agroecosistemas. Sin embargo, aún estas conocidas plagas tienen efectos positivos; varios estudios sobre la ecología de estas hormigas demuestran que aceleran la descomposición del material vegetal y contribuyen al movimiento del suelo así como a su fertilidad (Perfecto y Vandermeer 1996)

De acuerdo a Wild (1992) algunas especies de hormigas son depredadoras especializadas, se alimentan de la mesofauna y de miembros pequeños o inmaduros de la macrofauna edáfica. Otro grupo anida en el suelo pero, buscan su alimento en la superficie, atrapando insectos sobre la vegetación; estas son generalmente más grandes y más activas.

La mayoría de las hormigas tienen el potencial de ser depredadores importantes en los agroecosistemas (Perfecto y Castañeiras 1998); sin embargo, algunas especies que viven dentro de tallos vivos, complementan su dieta con mieles que colectan de homópteros a los que protegen. En este caso, el efecto de las hormigas en el

---

<sup>8</sup> I. Perfecto, J. Vandermeer y Philpott, S. 1999. La comunidad de las hormigas en una finca orgánica en Chiapas, México. Original no publicado. University of Michigan, Ann Arbor, MI.

agroecosistema puede ser positivo o negativo, dependiendo de si los homópteros son plaga importante o no.

Algunos géneros de hormigas, que anidan en el suelo, construyen galerías y cámaras para sus crías, lo que puede tener un efecto importante sobre la aireación y el drenaje de los suelos y, en este sentido, pueden presentar una eficacia similar a la de las lombrices en la mejora de las condiciones físicas del suelo (Wild 1992)

Por lo anterior, es importante entender las interacciones ecológicas que se dan en un sistema, por más complejas que parezcan. Perfecto *et al.* (1999) afirma que si tenemos un buen entendimiento de estas interacciones, podemos manipular el sistema para aumentar los efectos positivos y disminuir los negativos.

## 5.7 Interacciones entre Hormigas y Plantas

Generalmente se asocia a las hormigas con algún daño producido a las plantas cultivadas. Si bien es cierto que algunos de estos insectos son importantes defoliadoras, existe otro tipo de asociación entre hormigas y plantas que resultan beneficiosas para ambas<sup>9</sup>.

El mutualismo es una relación interespecífica muy particular por la que todos los organismos participantes se benefician (Odum 1986). Si se establece entre hormigas y plantas se denomina mirmecofilia. Casos particulares son la polinización por hormigas o mirmecocoria, los mutualismos por los que las plantas proveen refugio a las hormigas (plantas mirmecófitas) y aquellos por los cuales les suministran alimento (Sosa 1997).

La mirmecofilia es una interacción ampliamente difundida, que caracteriza a 103 géneros de plantas vasculares. Este tipo de plantas prolifera en América tropical, sobre todo en hábitats sucesionales y de condiciones ambientales inestables (Sosa, 1997).

En los bosques de la Costa Atlántica de Nicaragua, son varias las especies vegetales que desarrollan estructuras especiales en las que comúnmente se observan numerosas hormigas patrullando (G. Luna, pers. obs), tal es el caso de *Cordia alliodora*, *Cecropia insignis* y *C. obtusifolia*, *Croton spp.*, *Inga spp.*, entre otras. La mayoría de estas son especies pioneras que vienen después de una perturbación.<sup>10</sup>

El azúcar de las plantas es una recompensa importante para las hormigas, siendo éste un eficiente sistema defensivo (Sosa 1997). Posiblemente, las plantas leñosas más que las herbáceas, y las especies en sucesión, más que las climácicas, posean nectarios, que le sirvan de atracción para hormigas, en mayor número, sin embargo, son escasos los estudios que hayan descrito tal patrón, siendo este un campo nuevo e interesante para investigar.

Por otro lado, la dispersión de semillas por hormigas, ofrece importantes ventajas para la planta, como la diseminación a hábitats distantes y la posibilidad de colonizarlos, semillas dispersadas escapan de la competencia con la planta madre y sus vecinas; la

---

<sup>9</sup> I. Perfecto et al., 1995. original no publicado. University of Michigan, Ann Arbor, MI.

<sup>10</sup> D. Andersen y G, Luna. 1998. Comparación de la diversidad de hormigas en un agroecosistema vs. Un bosque secundario en la Unión, Nicaragua. Informe de Campo. CIDCA, Bluefields.

reducción del consumo del vegetal por parte de herbívoros y, por último el entierro de las semillas. En síntesis, las plantas con estructuras de atracción y protección, son dispersadas hasta microhábitats enriquecidos y, a cambio las hormigas obtienen un recurso alimenticio que le suministra nutrientes esenciales (Holldobler y Wilson 1990; Piera 1997; Sosa 1997;).

## **5.9 HORMIGAS COMO BIOINDICADORES**

Para comprender e interpretar la dinámica ambiental es necesario investigar, tanto el componente vegetal como la fauna del sistema en cuestión (Altieri 1992). Sin embargo, el estudio de este segundo componente presenta muchas dificultades: por razones logísticas, económicas y taxonómicas, no es posible considerarla en su totalidad (Knaebel 1998). Generalmente es necesario escoger un grupo animal, caracterizado por una respuesta univoca y bien conocida a las diferentes condiciones del medio ambiente. Con el termino “bioindicadores” se indica entonces un grupo de animales, arbitrariamente seleccionado, que pueda ser utilizado como indicador del estado de la comunidad animal en su totalidad (Majer 1983).

Las técnicas de bioindicación se basan en la evaluación de la calidad de los diferentes sistemas, no sólo a partir de parámetros físico- químicos, sino a partir de las distintas comunidades de organismos que los habitan (modificado de Dato 1998)

La utilización de organismos indicadores permite identificar, de forma relativamente rápida, condiciones específicas de los sistemas y ayudan a entender las interacciones entre organismos, contribuyendo de esta forma a la formulación de estrategias sostenibles de manejo (Luna 1999)

Majer (1983), considera que debido a su abundancia numérica, tamaño, y riqueza de especies, las hormigas representan un taxón prominente que se distribuye en muchos ecosistemas terrestres. Esto y el hecho que las hormigas ocupan el nivel trófico más alto y a menudo nichos especializados, sugiere que ellas pueden ser buenos bioindicadores de varios parámetros medioambientales.

Algunas características de las comunidades de hormigas, como la riqueza de especies, la dominancia y la presencia o ausencia de especies particulares o grupos funcionales, varían de manera previsible en función de la calidad ambiental, de la madurez, o del grado de alteración del ecosistema. Por lo tanto, este grupo presenta características especiales para ser un utilizado como bioindicador en el estudio de la dinámica de sistemas intervenidos (Roth y Perfecto 1994; Majer 1983).

Peck *et al.* (1998), evaluaron el potencial de usar hormigas como indicadores medioambientales de la condición del ecosistema y, encontraron agrupaciones de especies de hormigas que difieren significativamente entre los cultivos y el margen del cultivo. Correlacionaron las poblaciones de hormigas con variables como el tipo de suelo, la práctica de cultivo, y el uso de insecticidas, sugiriendo que las hormigas tienen potencial como indicadores biológicos de las condiciones del agroecosistema.

Majer *et al* (2000) afirman que frecuentemente se han usado hormigas como indicadores del éxito de rehabilitación de áreas que han sido aprovechadas intensivamente en actividades extractivas o productivas (minas, potreros, etc.) a lo

largo de varios años. Uno de los desafíos de este acercamiento ha sido rastrear la sucesión de la comunidad de hormigas a través del tiempo, teniendo en cuenta los procedimientos de la rehabilitación y las variantes que han evolucionado encima de este período.

Aunque existen algunos estudios sobre la sucesión tras el abandono de algunas prácticas productivas (cultivos, extracción de minerales, potreros) (Majer 2000), se sabe muy poco de lo que ocurre con otros tipos de agricultura, como los sistemas agroforestales o las prácticas de tumba y quema, sin que nadie haya realizado estudios comparativos de sucesión ecológica a lo largo de un gradiente de intensificación. Así, es especialmente importante entender el papel del tipo de agricultura del cual parte el proceso de sucesión, así como los mecanismos ecológicos que intervienen en el avance de este proceso.

## **6 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO**

El estudio se llevó a cabo en la Región Autónoma Atlántico Sur de Nicaragua (R.A.A.S), específicamente, en los municipios de Bluefields, Kukra Hill y Laguna de Perlas. El área se encuentra dentro de la zona de vida de Bosque Tropical Húmedo (Holdridge 1996) y comprende once municipios.

Por su ubicación geográfica, el área se encuentra dentro de una zona donde existen las mayores precipitaciones del país, con un promedio anual de 4481 mm y 1332.4mm de evaporación<sup>11</sup>. Se presentan lluvias continuas durante todo el año siendo menos intensas en los primeros meses (enero-abril) y más intensas en los meses intermedios del año (junio-agosto). La temperatura promedio anual es de  $27\pm 1^{\circ}\text{C}$  (Brenes y Castillo 1999). Las tierras en los ocho sitios estudiados se clasifican como Ultisoles, arcillosos y muy ácidos.

### **6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO**

La matriz antropogénica que domina el paisaje en la R.A.A.S. se encuentra conformada básicamente por cuatro modelos agrícolas: 1) los sistemas agroforestales tradicionales, al uso de las comunidades criollas 2) sistemas tradicionales de tumba y quema para milpas, generalmente de menos de una ha de extensión, 3) pastos extensivos, con poca carga ganadera, pero que pueden cubrir extensiones de más de 10 ha y; 4) cultivos industriales intensificados (monocultivos) sometidos a mecanización y manejo mediante agroquímicos, los cuales están representados en la R.A.A.S. por las plantaciones de caña de azúcar alrededor de Kukra Hill.

Estos cuatro sistemas representan un gradiente de intensificación agrícola relacionado con la diversidad vegetal y el uso de agroquímicos (cuadro 1). El nivel de intensificación va desde el sistema agroforestal al de tumba y quema, seguido por el pastizal y finalmente el más intensivo, el monocultivo de caña de azúcar. En cada uno de estos cuatro sistemas se establecieron dos parcelas, para un total de ocho parcelas. Cada

---

<sup>11</sup> El dato para la evaporación fue tomado de INDERA. 1991. Informe no publicado.

parcela consiste en un área de 0.8 ha (1mz) a 1 .0 ha, que fue cercada y en ellas ha cesado la actividad agrícola por completo (incluida la penetración de ganado).

### **6.2.1 Rocky Point- Laguna de Perlas**

Las dos parcelas del sistema agroforestal se ubicaron en Rocky Point (12°18'28" N; 83°44'10" W). El paisaje es un mosaico de fincas agroforestales, agricultura de tumba y quema, pasturas pequeñas y bosque secundario. Los campesinos criollos han practicado la agrosilvicultura y cultivo de tumba y quema en Rocky Point durante un siglo (Griffith 2004). El bosque original en las parcelas fue aclarado hace décadas y el bosque más cercano se localiza lejos en un pantano aproximadamente 10 km (Garth, R., pers. conv.).

La parcela 1 de agroforestería fue ubicada en la finca de Mr. Cloyd, en un sistema silvopastoril que consiste principalmente de pasto y árboles remanentes dispersos por toda la zona de pastoreo. Una parte de la finca está dominada por árboles maderables (principalmente *Cordia alliodora*) y la otra está dominada por árboles de cítricos. La finca tiene alrededor de 30 años en producción y comprende aproximadamente unas 35 hectáreas, de las cuales 21 están cubiertas de pasto activo asociado con árboles y 14 se encuentran en áreas de bosque secundario y sitios para cultivos anuales (maíz, yuca y frijoles).

La parcela 2 se estableció en la finca de Mr. Henry a unos 2km de la parcela agroforestal 1. Esta compuesta por un dosel de árboles frutales, incluyendo coco, mango, cítricos y plátano, y un sotobosque de latispatha (*Heliconias*) que los campesinos locales promueven porque se aclara fácilmente con un machete (Griffith 2004).

En la misma finca de Mr.Cloyd, se ubico una parcela de tumba y quema (tumba y quema 2), la cual esta rodeada por un bosque ribereño secundario. El campesino aclaró el bosque original durante los años 1970, tumbo y quemo el área para establecer un cultivo de arroz que produjo durante unos 8-9 ciclos y luego la abandonó.

### **6.2.2 La Unión-Caño Negro**

La Unión es una cooperativa de pequeños agricultores ubicada hacia el noreste del municipio de Bluefields (12°7'50" N; 83°48'54".W; elevación 10 a 12 msnm). Tiene una extensión aproximada de 56 hectáreas, de las cuales unas 35 están cubiertas de pasto y las 21 restantes son tacotales viejos (áreas en regeneración) y una pequeña parte de la finca (costado noreste) es un parche de bosque secundario con algunas especies de bosque primario, remanentes del huracán Joan (el huracán Joan azotó la Costa Atlántica en el año 1988).

En la parte noreste de la finca se estableció una parcela en el área de pasto (pastizal 2), la cual colinda con un bosque secundario, pero el frente está compuesto del pastizal extensivo. El sitio se rozó para el pastoreo del ganado durante aproximadamente 50 años.

En la misma zona, aproximadamente a unos 6km al noroeste del río Caño Negro, se estableció la otra parcela de tumba y quema (tumba y quema1). Según el dueño, el

bosque original se mantuvo hasta que el Huracán Joan golpeó en 1988, seguidos por los fuegos en 1997. El dueño aclaró el sitio para cultivo de maíz y cosecho dos años, una vez en 1998 y una en 1999, de tal manera que cuando se estableció la parcela, ya el área había sido abandonada por unos meses. El área esta rodeada de tacotales viejos (áreas cultivadas con yuca, piña y caña hace varios años) y una franja de bosque secundario en el costado Este de la parcela.

### **6.2.3 Bodega- Kukra River**

Ubicada al sureste del municipio de Bluefields, sobre el río Kubra (11°52'22" N; 83°57'44" W; elevación 10 a 20 msnm). La finca tiene alrededor de 91 hectáreas de terreno y consta de pastizales activos con árboles remanentes, también existe un parche de pasto abandonado (cerca de 2 ha) y un pequeño fragmento de bosque secundario de unas 6 ha aproximadamente.

La otra parcela de pastizal (pastizal 1) fue establecida en un pastizal activo y se cercó para evitar la penetración del ganado. El área se usó para la producción ganadera durante 6 años antes de ser abandonada y está rodeada de pastizales activos. Al igual que la parcela de pastizal en La Union, esta parcela se encuentra adyacente a un fragmento de bosque que se están regenerando después del Huracán Joan y donde se ha estudiado dicho proceso a lo largo de 13 años (Vandermeer et al. 1990, Vandermeer y Perfecto 1991).

### **6.2.4 Kukra Hill- Plantaciones de Caña de Azúcar**

Las plantaciones de caña de azúcar del ingenio "Agroindustrial, S.A.", datan desde 1960 aproximadamente hace unos 36 años. Se encuentran en las faldas de la loma de Kukra Hill, ubicado en el municipio del mismo nombre (12°17'5" N; 83°47'22" W). Ambas parcelas de monocultivo (1 y 2) se localizan dentro de esta plantación de caña de azúcar, por ser este el único sistema de agricultura intensiva en la Costa Atlántica de Nicaragua.

Es un sistema extensivo sometido a mecanización, involucra la quema anual, aplicación de grandes cantidades de agroquímicos, especialmente herbicidas para eliminar la hoja ancha y 1-2 cosechas por año.

Al principio de este estudio, 770 ha de la plantación estaban en producción y 1020 ha bajo barbecho. La parcela 1 del monocultivo se localizó al borde norte de la plantación, cerca a un mosaico de pasturas y matorral degradado, con árboles de *Cecropia spp.* y una grama (*Gynerium sagittatum*) de unos 6-m de altura (Griffith 2004). A pesar de la diversidad sumamente baja, estos parches de matorral son la fuente más cercana de semillas de árboles. La parcela 2 se localiza dentro de la plantación a 1.5 km al suroeste de la primera parcela. La fecha precisa cuando la producción acabó en cada sitio es desconocido, pero el abandono ocurrió probablemente **varios** años antes de este estudio.

## **6.3 MÉTODOS**

### **6.3.1 Colecta de datos**

El estudio comprendió un total de cinco muestreos intensivos, tres en la estación de invierno y dos en el verano, con una duración de 19 meses a partir del mes de Agosto de 1999. Cada parcela (1ha) se dividió en tres sub-parcelas de 20m x 10m, dispuestas aleatoriamente, respetando un borde de al menos 5m del bosque.

En cada sub-parcela (20m x 10m), tracé cinco transectos lineales (20m) ubicados a dos metros de distancia entre ellos. Luego, en cada transecto, coloqué sobre la superficie del suelo, banderitas plásticas cada dos metros y debajo de ellas un cebo para atraer las hormigas. Para el estudio utilicé cebos de atún en aceite como atrayente (Mackay y Vinson 1989) ya que es bastante apetecido por las hormigas del suelo y por su fuerte olor atrae, incluso, hormigas que no son depredadoras<sup>12</sup>. Después de un período de 10 a 15 minutos se inició el muestreo visual, observando durante dos minutos, aproximadamente, cada cebo y otros sustratos accesibles como el suelo, hojarasca y ramitas secas en un área adyacente al cebo en un radio de aproximadamente 10cm. El esfuerzo total de captura fue de 6000 observaciones (50 cebos X 3 sub-parcelas x 2 parcelas x 4 sistemas x 5 muestreos= 6000 muestras).

Para la recolección de muestras, utilice un aspirador manual que funciona por succión. Colecte muestras de especies que no pude identificar bajo condiciones de campo. Las muestras se depositaron en viales rellenos de alcohol etílico al 90%, se etiquetaron con información sobre ubicación, hábitat, fecha y, posterior se llevaron al laboratorio para futura identificación.

La colección de referencia fue depositada en el Museo Entomológico de León, Nicaragua. Todas las hormigas fueron separadas, contadas y determinadas hasta el nivel de género, siguiendo la clasificación de Hölldobler y Wilson (1990) y la de Mackay y Mackay (1989). Dentro de cada género los especímenes fueron agrupados por morfoespecies, algunas de las cuales fueron identificadas hasta especie con la ayuda de especialistas (ver agradecimientos)

### **6.3.2 Análisis estadístico de los datos**

Para realizar el análisis estadístico tomé como unidad de muestreo cada subparcela. La riqueza (S) es el número total de especies, independientemente de la abundancia. Por tratarse de organismos coloniales, calculé la abundancia de hormigas en base a la frecuencia de captura de las diferentes morfoespecies, así pues cada conteo es un evento de captura y puede constar de uno o cientos de individuos reclutados (Armbrecht y Ulloa-Chacón 1999).

Calculé varios estimadores de riqueza que trabajan con abundancia de especies (Shannon Weiner, Simpson, ACE, Jack1) mediante el programa EstimateS versión 6.1. (Colwell 1997), los cuales permitieron predecir la diversidad de especies en cada uno de los sistemas de producción y además construir las curvas de acumulación de especies para ver si existen cambios en la riqueza o abundancia de la comunidad de hormigas a medida que el proceso de sucesión ecológica (tiempo) avanza o a medida que el número de capturas incrementa. Las curvas de acumulación también permiten visualizar si la recuperación de la comunidad de hormigas después del abandono de un

---

<sup>12</sup> I. Perfecto.1998. Conversación personal. Universidad de Michigan, Ann Arbor, MI.

área agrícola depende del tipo de agricultura que se practicó antes del abandono (ver hipótesis general 2).

Para comprobar si la comunidad de hormigas es diferente a lo largo del gradiente de intensificación agrícola (hipótesis general 1), compare las tasas de cambio de riqueza y abundancia entre las subparcelas de cada sistema, esto debido a que el tiempo de abandono no fue el mismo para cada parcela. Para obtener las tasas de cambio use las pendientes de la regresión (tiempo de abandono versus número de especies) como una estimación. Para evitar problemas de pseudoreplicación al comparar las diferentes parcelas, realice un ANOVA con sitios anidados dentro de prácticas agrícolas (Análisis de Varianza Anidado) tomando como variables dependientes la riqueza y abundancia de hormigas y como factores el tipo de agricultura y el sitio. (falta escribir el programa con el que se calculó.)

Las diferencias entre pares de práctica agrícola se identificaron mediante una prueba (a posteriori) de comparación múltiple de Tukey (HSD). Esta prueba permite ver de manera gráfica la tendencia, en términos de riqueza o abundancia, que presentaron los tratamientos que se comparan.

Con el fin de conocer la similitud de la mirmecofauna entre los diferentes sistemas agrícolas y localidades, hice un análisis de conglomerados, usando los datos de presencia - ausencia de las especies. Calculé el coeficiente de similitud de Sorensen y Morisita Horn, utilizando el programa EstimateS versión 6.1. (Colwell 1997).

Para describir la forma en que se encuentran dispuestas las poblaciones de hormiga en el gradiente de intensificación, utilicé como medida de clasificación el principio de Rabinowitz (1981), en el cual las especies son distribuidas en base a las características de: abundancia (abundante-escasa), selección de hábitat (especialista-generalista) y rango de distribución (amplio-estrecho). Haciendo una modificación a la Tabla propuesta por esta autora, tome como variables únicamente las dos primeras características, y considere cada sistema productivo como un hábitat y la frecuencia de captura como una medida de abundancia para cada morfoespecie.

Finalmente, para determinar si las variables medidas (riqueza y abundancia relativa de hormigas) pudieran ser explicadas por las variaciones en la composición vegetal que presenta cada una de las parcelas, calcule el coeficiente de correlación de Spearman ( $r_s$ ) utilizando las tasas de cambio en la riqueza y abundancia de las hormigas, versus las tasas de cambio de las variables vegetales medidas en el estudio de Griffith (2004)<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> Ver análisis estadísticos en Griffith, D. 2004. Succession of Tropical Rain Forest along a Gradient of Agricultural Intensification: Patterns, Mechanisms and Implications for Conservation. PhD dissertation. University of Michigan. pp 44-78.

## RESULTADOS

### Riqueza e Índices de Diversidad

Se encontró un total de 82 morfoespecies de hormigas, las cuales se pueden ubicar taxonómicamente en 30 géneros pertenecientes a seis subfamilias de las siete que existen en el Neotrópico (Jaffe *et al.* 1993). La subfamilia Myrmicinae presentó el mayor número de especies mientras que Dorylinae presentó el menor (Fig. 1). Los géneros con mayor riqueza de especies fueron *Pheidole* (18), *Camponotus* (9), *Pseudomyrmex* (8) y *Tapinoma* (5).

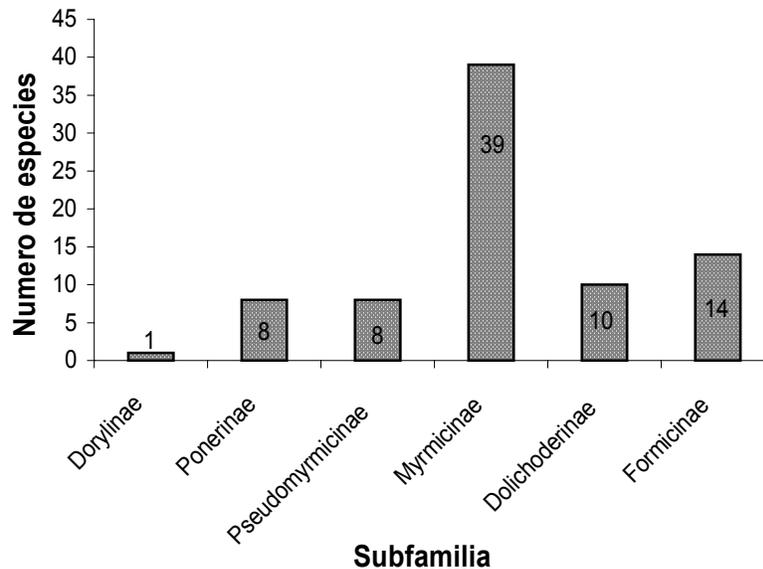
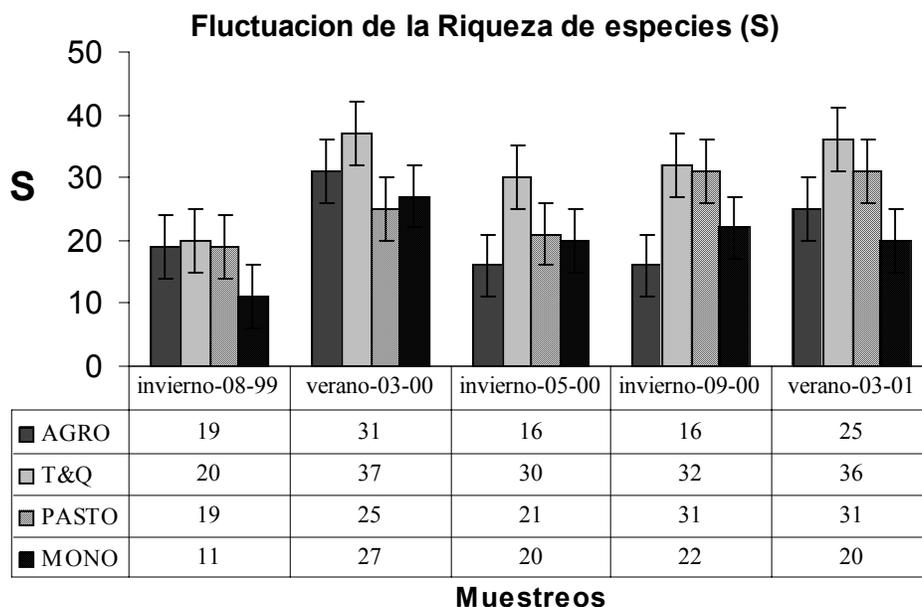


Fig.1 Número de especies en cada subfamilia de la Familia Formicidae en cuatro sistemas agrícolas en la R.A.A.S., Nicaragua.

Entre las especies encontradas se destacan seis nuevos géneros reportados para la fauna de Nicaragua; *Oligomyrmex sp.*, *Eurhopalothrix sp.*, *Mycocephurus*, *Prenolepis sp.*, y *Liometopum sp.* Los tres primeros géneros, fueron encontrados una sola vez durante todo el muestreo; además, la tribu Plagiolenidini, perteneciente a la sub familia Formicinae y representada en este caso por el género *Acropyga sp.* significa un nuevo reporte de tribu y género para la fauna de Nicaragua. Es importante comentar que el registro del genero *Mycocephurus* en este estudio, se tomo como referencia en la elaboración del mapa de distribución geográfica de dicho genero a nivel mesoamericano (Mackey *et. al.* 2004).

La mayor riqueza de especies dada por los valores de S (número absoluto de especies) al final del muestreo la presentó el sistema de tumba y quema S=59 seguidas en orden descendente por el pastizal S=52, y los tratamientos de menor riqueza fueron agroforestería S=47 y el monocultivo de caña de azúcar S=39 (Figura 2).



**Fig. 2. Riqueza de especies (S) en cada tratamiento durante cinco muestreos.**

Todos los tratamientos presentaron un incremento en el número de especies con el paso del tiempo, y como se esperaba, el tratamiento de monocultivo de caña fue el que presentó la menor riqueza de especies, siendo esta una de las formas de manejo con mayor nivel de intensificación.

Aparentemente existe diferencia en la riqueza de especies entre las dos estaciones del año, siendo mayor la riqueza de especies durante la estación seca, sin embargo estas diferencias no son estadísticamente significativas.

### **Análisis de varianza-Riqueza**

El análisis de varianza anidado (Tabla 3) calculado para determinar las diferencias entre las prácticas agrícolas en función de las tasas de cambio de la riqueza de especies con el tiempo, no mostró diferencias significativas ni entre tratamientos ( $\alpha=0.05$ ,  $P=0.201$ ), ni entre sitios ( $\alpha=0.05$ ,  $P=0.012$ ).

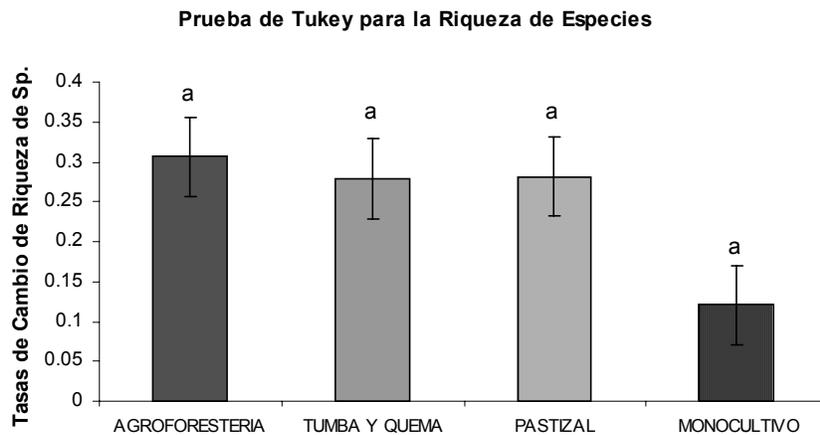
**Tabla 3. Resultados de una ANOVA anidada, tomando las tasas de cambio de la Riqueza de especies con el tiempo de abandono como la variable dependiente y, el tipo de agricultura y el sitio como Factores.**

Source	Tipo III Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Distribución F	Sig.
Corrected Model	.585	7	8.355E-02	3.322	.022
Intercepto	1.460	1	1.460	58.057	.000
Tipo de Agricultura	.131	3	4.355E-02	1.732	.201
Sitio (tipo de agricultura)	.454	4	.114	4.515	.012

Error	.402	16	2.515E-02		
Total	2.447	24			
Corrected Total	.987	23			

Aunque el análisis (ANOVA) indica que no existe diferencia significativa en las tasas de cambio de la riqueza de especies entre las cuatro estrategias agrícolas que se comparan, la prueba de Tukey (a posteriori) muestra cierta tendencia hacia la disminución en el número de especies a medida que el sistema se intensifica.

Fig. 3 Comparación múltiple de Tukey HSD. Efecto de cada tipo de agricultura sobre las tasas de cambio de la riqueza de especies con el tiempo. Cuadrado Medio (Error) = 2.515E-02 a.) Tamaño medio de la muestra = 6.0 b.)  $\alpha=0.05$ .



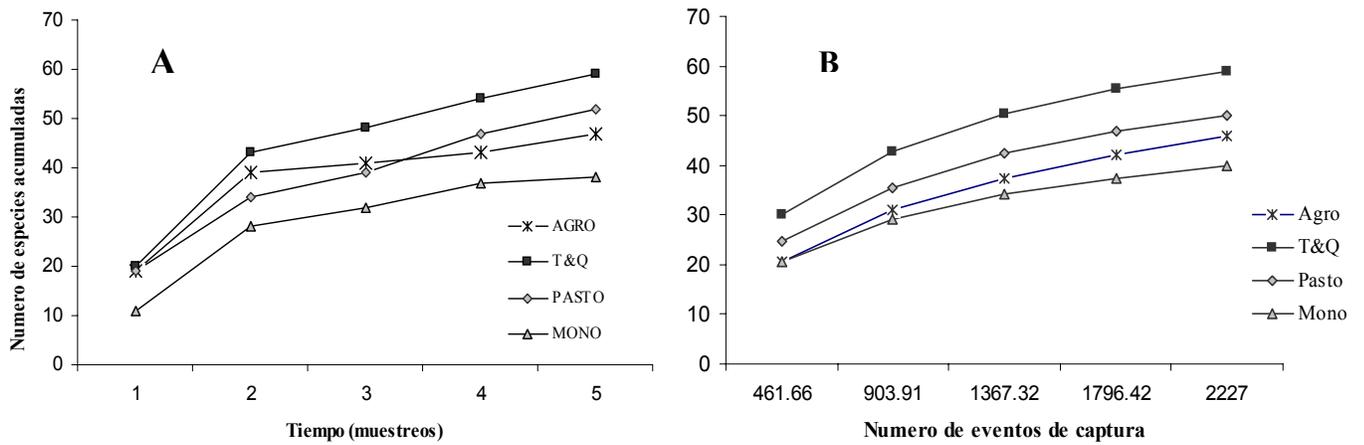
Los sistemas de agroforestería, tumba y quema y pastizal parecen no mostrar diferencias significativas en las tasas de incremento de especies, sin embargo es notable la diferencia entre estos tres sistemas y el de monocultivo, el cual muestra una clara disminución en sus tasas de cambio (fig. 3).

### **Curvas de Acumulación de especies**

Se analizó el patrón de acumulación de especies a lo largo de los cinco muestreos para conocer los cambios en la riqueza de especies en los diferentes hábitats, encontrándose una tendencia similar al graficar utilizando el tiempo (numero de tomas) o al graficar utilizando el numero de eventos de captura (abundancia relativa) (Fig.4)

En ambos gráficos se observa un incremento en el numero de especies observada a medida que el tiempo avanza, sin embargo, es evidente que el sistema de tumba y quema es el que fue acumulando especies con mas rapidez que los demás, tanto entre tomas como cuando se aumentaba el número de eventos de captura.

Fig.4 Curvas de acumulación de especies discriminadas por sistema agrícola. En cada sistema se realizaron cinco muestreos durante dos años y cada uno tiene una replica. El grafico derecho (A) se basa en el número de muestreos (tiempo) y el izquierdo (B) en el número de eventos de captura (rarefacción).

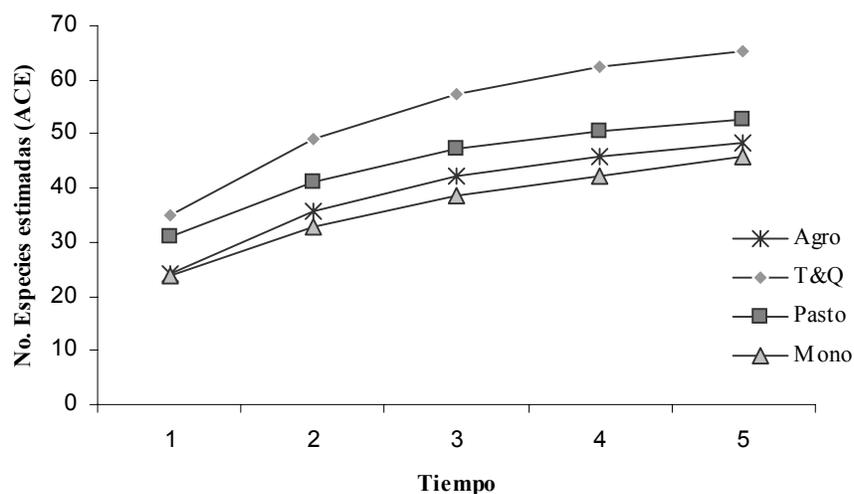


Aunque en menor cantidad que el sistema de tumba y quema, el pastizal también mostró un ascenso constante en la riqueza de especies, llegando a ocupar el segundo lugar con respecto a esta variable. Mientras que, existe una diferencia marcada en la forma en que el monocultivo y el sistema de tumba y quema fueron acumulando especies, siendo el primer sistema el más pobre en especies (fig. 4A).

A pesar que el tratamiento de monocultivo de caña fue el que acumulo menor número de especies, también presento un crecimiento paulatino durante el estudio, aunque se puede notar un acercamiento de la curva a su asintota, lo que indica menor cambio a través del tiempo en comparación con los demás sistemas. Lo anterior sugiere que, ninguno de los tratamientos se encuentra estático (Moreno, C 2001), pues la composición de las comunidades de hormigas sigue variando conforme las condiciones ambientales cambian y la probabilidad de seguir encontrando especies nuevas sigue creciendo, aunque en algunos tratamientos (tumba y quema y pasto) mas que en otros (agroforestería y el monocultivo).

Al graficar los datos utilizando la riqueza de especies esperada (estimador ACE) hubieron tendencias aparentes hacia un aumento en el número de especies acumuladas en el sistema de tumba y quema, aunque no estadísticamente significativa, observando un patrón similar al de los gráficos anteriores (fig. 4).

Fig.5 Curvas de acumulación de especies utilizando el número esperado de especies (estimador ACE) para cada sistema agrícola. (EstimateS versión 6.0)



Sin embargo, las curvas de muestreo de especies indican que éste fue incompleto en todos los sistemas, ya que en ninguno, el número cumulativo de especies registradas se estabilizó completamente. Parte de esto se explicaría por los cambios que se dan en la vegetación y las condiciones del sistema en general a medida que el proceso de sucesión ecológica avanza. Sin embargo, algunas de las tendencias observadas en los sistemas durante el estudio fueron marcadas y existen pocas probabilidades de que éstas estén distorsionadas, ya que el muestreo fue igual para todas las áreas.

## Abundancia relativa de hormigas

### a. Abundancia y tiempo de abandono

Es notorio el crecimiento que experimentaron en términos de abundancia (eventos de captura) todos los sistemas agrícolas a medida que el tiempo de abandono de cada parcela aumentó (muestreos). El sistema de tumba y quema presentó el mayor número de eventos de captura en todas las tomas (o muestreos) a excepción de la tercera, donde fue el monocultivo el que registro el punto máximo (738 capturas) entre las cuatro estrategias comparadas, desviándose de la tendencia; sin embargo este dato disminuyó drásticamente durante los últimos dos muestreos (660 y 583 capturas respectivamente) siendo este el sistema que presentó menos especies y menos abundancia de hormigas.

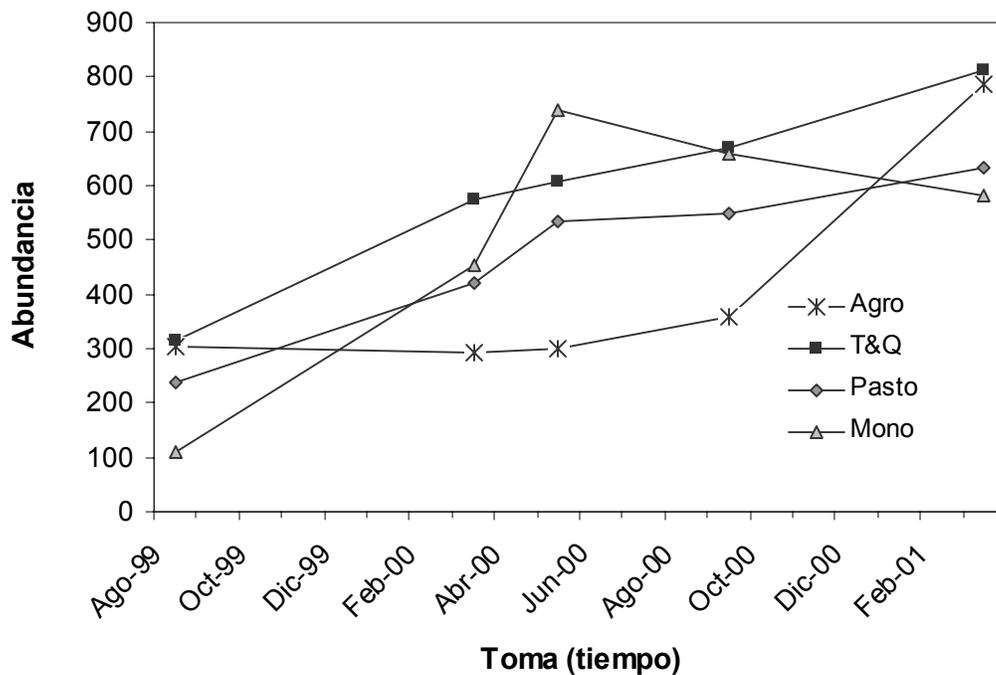


Figura 4. Abundancia relativa de hormigas en cada sistema agrícola durante cinco muestreos. Tumba = Tumba y Quema. Pasto = Pastizal. Mono = Monocultivo de Caña de Azúcar. Agro = Agroforestería. Los muestreos (Tomas) se realizaron uno tras otro durante tres años de regeneración de los sistemas abandonados.

## b. Abundancia y práctica agrícola

La predicción sobre una mayor abundancia en los sistemas menos intensivos parece cumplirse, pues tanto al inicio como al final del muestreo los resultados presentaron la misma tendencia con respecto al número de eventos de captura (abundancia). Basados en estos resultados, los datos pueden agruparse en dos grandes grupos: el primero formado por el sistema de tumba y quema y agroforestería en los cuales se registró un aumento significativo en el número de eventos de captura y, el segundo grupo representado por el sistema de pastizal y monocultivo, ambos con menor abundancia. Aunque la situación varió un poco durante los muestreos intermedios, la abundancia en el sistema agroforestal disminuyó drásticamente, mientras que el monocultivo aumentaba, pero al final el patrón es el mismo.

Al parecer, la abundancia relativa de hormigas está relacionada con el tiempo de abandono de las parcelas, pues en todos los casos el número de capturas aumenta a medida que el tiempo avanza y las condiciones ambientales del sistema cambian, pero también parecen diferir según la práctica agrícola de donde parte el proceso (fig.4).

### Análisis de varianza-Abundancia

Con el análisis de varianza anidado se encontró que las diferencias observadas entre los cuatro sistemas agrícolas en función de las tasas de cambio de abundancia (eventos de captura) contra el tiempo de abandono, si son estadísticamente significativas ( $F=8.96$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.001$ ) lo que significa que, existen tratamientos o tipos de agricultura que benefician la colonización y/o dominancia de algunas especies, mientras que desfavorece a otras, puede ser excluyéndolas o bien, limitando su abundancia y/o distribución dentro del sistema (tabla 5).

Por otro lado, la variable sitio (tipo de agricultura), también fue significativamente influyente ( $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ), lo que indica que las “características de sitio” causadas por las posición geográfica de las parcelas, aunada al tipo de tratamiento, incide de alguna manera en la abundancia relativa de las especies encontrada en cada sistema.

Tabla 5. ANOVA anidada, tomando las tasas de cambio de abundancia contra tiempo como la variable dependiente y el tipo de agricultura y el sitio, como Factores.

Source	Tipo III Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Distribución F	Sig.
Corrected Model	131.513	7	18.788	12.455	.000
Intercepto	298.789	1	298.789	198.086	.000
Tipo de Agricultura	40.543	3	13.514	8.960	.001
Sitio (Tipo de agricultura)	90.970	4	22.742	15.077	.000
Error	24.134	16	1.508		
Total	454.436	24			
Corrected Total	155.647	23			

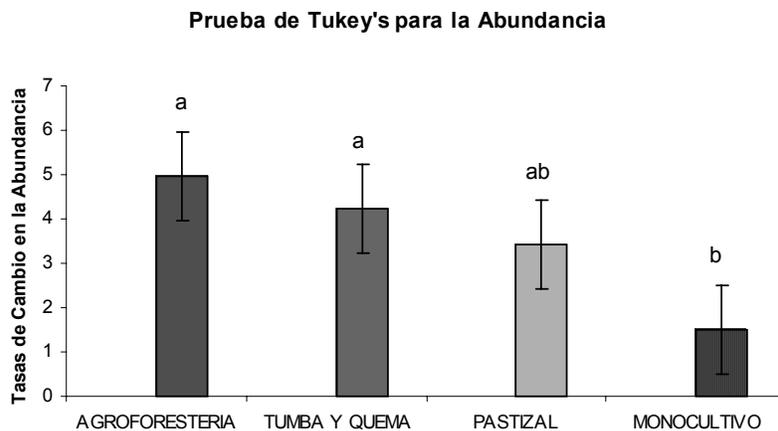
Es importante destacar que la relación entre la variable de respuesta (abundancia) y los factores (tipo de agricultura y sitio) es altamente significativa  $R^2 = 0.845$  ( $R^2$  Ajustado = .777). La prueba de Tukey apoyo lo encontrado en el ANOVA, presentándose, como se esperaba, menor abundancia de hormigas a medida que el sistema se intensifica.

La fig.5 muestra una clara tendencia en la disminución de la abundancia relativa de las especies relacionada con el gradiente de intensificación agrícola, siendo muy alta en el tratamiento de agroforestería con un alto declive en el monocultivo de caña de azúcar. Es importante resaltar que los sistemas de tumba y quema, agroforestería y pastizal no fueron muy diferentes entre si, pero ambos (tumba y quema y agroforestería) son distintos del monocultivo.

---

Fig. 5 Comparación múltiple de Tukey HSD. Efecto de cada tipo de agricultura sobre la abundancia relativa de las especies. Cuadrado Medio (Error) = 1.508 a) Tamaño medio de la muestra = 6.0 b) Alpha = 0.05.

---



Aunque la riqueza de especies que presenta cada sistema agrícola no es estadísticamente diferente, el número por el cual se encuentran representadas cada una de ellas en la comunidad si difiere significativamente.

### **Estructura de la Comunidad de Hormigas**

Las especies se distribuyen, normalmente, según jerarquías de abundancia desde algunas especies muy abundantes hasta algunas muy raras. Generalmente, en las comunidades lo normal es que haya bastantes especies raras, pocas especies abundantes y muchas especies con una abundancia intermedia (Piera 1997). Es muy probable que este tipo de relación especies/abundancia, se dé siempre que los elementos del sistema interaccionan y compiten por unos recursos limitados, en donde la abundancia de una especie es, de alguna forma, equivalente a la porción de nicho ocupado por cada especie en la comunidad (Ramírez y Enríquez 2003).

Para describir la forma en que se encuentran dispuestas (estructura) las poblaciones de hormiga en el gradiente de intensificación agrícola (agroforestería, tumba y quema pasto y monocultivo de caña), utilicé como medida de clasificación el principio de Rabinowitz, D (1981), en el cual las especies son distribuidas en base a las

características de: abundancia (abundante-escasa), selección de hábitat (especialista-generalista) y rango de distribución (amplio-estrecho). Atendiendo a los objetivos de este estudio, hice una modificación a la Tabla propuesta por esta autora y, tome como variables únicamente las dos primeras características, en vista que no existe información disponible para determinar el rango de distribución de las especies; consideré cada tratamiento como un hábitat y la frecuencia de captura como una medida de abundancia para cada morfoespecie.

La rareza de un organismo es la condición de ser infrecuente y puede presentarse como rareza de ocupación entre áreas o bien como rareza de individuos dentro de un área (Piera 1997). Con la intención de identificar el comportamiento ecológico y la caracterización de las especies raras en los cuatro sistemas estudiados elabore la siguiente tabla:

**Tabla 7.** Seis clases de rareza atendiendo a dos características ambientales: abundancia y hábitat. Modificado de Rabinowitz, D. (1981). (1) Especies con 1 a 5 eventos de captura en un solo sistema (2) más de 5 eventos de captura en un solo sistema, (3) 1 a 5 eventos de captura en dos sistemas, (4) más de 5 capturas en dos sistemas (5) 1 a 5 capturas en todos los sistemas , (6) más de 5 capturas en todos los sistemas agrícolas.

		Rango de Hábitat		
		Especialistas	Intermedias	Generalistas
Abundancia	Baja	(1) 24 morfoespecies	(3) 4 morfoespecies	(5) 10 morfoespecies
	Alta	(2) 7 morfoespecies	(4) 9 morfoespecies	(6) 28 morfoespecies

### Rareza demográfica

De acuerdo con Rabinowitz (1981), las categorías (1), (3) y (5) representan aquellas especies demográficamente raras, es decir que presentaron densidades bajas (frecuencia de captura menor a 5) en todo el área de distribución aunque no estén asociadas a hábitats específicos (uno o más hábitat).

La categoría 1, con 24 morfoespecies, fue la que presento la mayor cantidad de especies raras (29.26% del total) sin embargo poco se puede decir de ellas, ya que son especies que aparecieron una sola vez, en un solo tratamiento y en un único muestreo, por lo tanto resulta difícil hablar de la influencia que estas especies tienen sobre la estructura de la comunidad de hormigas del sitio donde aparecieron. Solamente 4 morfoespecies aparecieron en dos tratamientos con abundancia baja (5%) y 9 morfoespecies muy abundantes (11.25%), de estas, la mayoría (7morfoespecies) son compartidas entre el tratamiento de tumba y quema y el pastizal.

La categoría (5), con 10 morfoespecies (12.19%), son especies generalistas, ya que aparecieron en todos los tratamientos, pero siempre con densidades muy bajas. Estas especies con pocas exigencias en cuanto al hábitat, pueden ir cambiando su categoría

a medida que las condiciones microclimáticas van mejorando y pueden ser las que desplacen a las más abundantes (Estrada y Fernández 1999). Los cambios en la densidad de estas poblaciones podrían representar avances en el proceso de sucesión ecológica, a pequeña escala. Aunque, también podría tratarse de especies que por naturaleza tienden a formar colonias pequeñas.

### Rareza por hábitat

Aplicando esta clasificación de rareza, se encontró siete morfoespecies (8.75% del total) dentro de la categoría (2) y podrían definirse como “especialistas abundantes” o “indicadoras”. Probablemente se trata de especies con requerimientos especiales de microclima (nivel de luz, vegetación, tiempo de abandono, tipo de suelo, precipitación, temperatura, entre otros) porque se encontraron abundantemente en un hábitat particular. De este grupo podemos mencionar a *Pheidole* sp15 y sp19, *Camponotus excisas*, *Prenolepis* sp, *Pachycondyla* sp2 y *Paratrechina* sp2.

En este caso, la alta densidad sumada a la exclusividad en el hábitat, podría indicar sitios óptimos para determinadas especies. Su abundancia permite afirmar categóricamente que se trata de especies estenóicas con respecto al hábitat o de hábitat restringido. Estudios más detallados sobre este grupo de especies podrían darnos información a cerca de hormigas indicadoras del estado de salud de hábitat perturbados a diferentes niveles de intensificación agrícola y de su importancia en problemas de conservación (ver Tabla 8).

La categoría (6) representada por 28 morfoespecies (34.1% del total), la conforman especies eurióicas, es decir que presentan amplio rango de distribución con respecto al hábitat. Podrían considerarse buenas competidoras, ya que pueden colonizar cualquiera de los hábitats, desde los más diversos y conservados como agroforestería, hasta los más deteriorados como el monocultivo de caña.

Aunque no existe diferencia significativa entre los diferentes sistemas en términos de la riqueza de especies ( $p=0.201$ ), si existe diferencia en términos de la abundancia y más importante aun, en función de la composición de la comunidad de hormigas en los sistemas estudiados. La prueba  $X^2$  indica que existe diferencia significativa entre las categorías de “rareza” (tabla modificada de Rabinowitz) de los cuatro biotopos ( $X^2=32.74$ , gl 5,  $\alpha =0.05$ ). La distribución de las especies “raras” no sigue un patrón homogéneo; lo cual se origina por dos valores mayores de las categorías de rareza (Tabla 7).

La presencia de ciertas especies como, *Pheidole* sp15 y *Wasmannia* sp, que se encontraron en el tratamiento de tumba y quema únicamente (Tabla 2) puede deberse a que este sitio presenta abundante materia vegetal en el suelo, así como suelos ligeramente húmedos que ofrecen una alta diversidad de sitios para el establecimiento óptimo de sus pequeñas colonias. Igualmente, *Camponotus excisas* y *Prenolepis* sp, se hallaron exclusivamente en las parcelas de pasto, sitios con abundantes especies vegetales pioneras (*Iserfia hanckeana*, *Cordia alliodora*, *Croton* sp, entre otras) y árboles remanentes altos que representan sitios para el establecimiento de especies de hormigas arbóreas como las del género *Camponotus*, *Cephalote* sp3, *Procryptocerus*, entre otras, todas ellas comunes en sitios con vegetación alta (Clave taxonómica de Holldobler y Wilson 1990).

Así mismo, se encontró cuatro morfoespecies, restringidas al sistema de monocultivo de caña; se trata de especies muy comunes en sitios poco diversos, con temperaturas muy altas, suelos pobres y con requerimientos mínimos como *Paratrechina sp2* y *Pheidole sp19, sp11 y sp19*, algunas de ellas comunes en tallos secos (como los que deja la caña al morir) y que construyen nidos no permanentes. Estas especies, o bien la combinación de algunas de ellas permiten hacer inferencias a cerca del estado de deterioro que presenta el área.

Hay un grupo pequeño de especies intermedias (*Labidus coecus*, *Camponotus atriceps*, *Pheidole sp10*, *Solenopsis sp1*, *Solenopsis sp3*, *Tetramorium sp1*) que son comunes a dos tipos de tratamiento, sin embargo, la mayoría de las especies (*Azteca sp3*, *Camponotus sexguttatus*, *Pachycondyla sp1*, *Pheidole sp18*, *Pseudomyrmex oculatus*, *Tapinoma sp1* y *Cephalote sp2*) son compartidas entre pasto y tumba y quema lo que indica cierto grado de similitud entre estos dos biotopos, en términos de condiciones de hábitat (vegetación, tiempo de abandono, cercanía con el bosque), por lo que el traslape de especies entre estos dos sistemas es alto.

Finalmente, existe un grupo de especies que aparentemente pueden vivir en casi todos los hábitat, por lo que se pueden considerar como comunes o muy comunes (*Solenopsis geminata*, *Pseudomyrmex gracilis*, *Ectatoma tuberculatum*, *Odontomachus sp*, varios géneros de *Pheidole*), habitualmente especies depredadoras generalistas y muy agresivas, con colonias grandes algunas y en otros casos con territorios muy grandes (como algunas especies del genero *Pheidole sp*) que pueden competir fuertemente entre ellas por recursos limitados. En muchas ocasiones estas especies pueden convertirse en plagas de importancia económica. En esta última categoría (6) se encontró la mayoría de las morfoespecies encontradas en el estudio (Tabla 8).

**Tabla 8.** Clasificación de rareza para las morfoespecies de hormiga encontradas en los diferentes tipos de agricultura. Modificado de la Tabla de Rabinowitz (1981)

Hábitat	Abundancia local	
	Alta	Baja
<b>Especialista</b>	<i>Pheidole sp15</i> <i>Wasmannia sp</i> <i>Camponotus excisas</i> <i>Prenolepis sp</i> <i>Pachycondyla sp2</i> <i>Paratrechina sp2</i> <i>Pheidole sp19</i>	<i>Azteca sp2</i> <i>Acropyga sp.</i> <i>Cardiocondyla sp</i> <i>Eurhopalothrix sp</i> <i>Gnaptogenys sp1</i> <i>Pheidole sp16</i> <i>Pheidole sp17</i> <i>Pseudomyrmex simplex</i> <i>Pseudomyrmex tenuissimus</i> <i>Strumigenys sp</i> <i>Tapinoma sp5</i> <i>Camponotus rectangularis</i> <i>Oligomyrmex sp</i> <i>Pseudomyrmex ita</i> <i>Tetramorium sp3</i> <i>Cephalote sp3</i> <i>Cephalote sp1</i> <i>Camponotus sp6</i> <i>Paraponera clavata</i> <i>Procryptocerus sp1</i> <i>Pheidole sp11</i> <i>Pheidole sp9</i>

		<i>Camponotus zonatus</i> <i>Camponotus mus</i>
<b>Intermedias</b>	<i>Azteca sp3</i> <i>Labidus coecus</i> <i>Pheidole sp10</i> <i>Pheidole sp18</i> <i>Solenopsis sp1</i> <i>Solenopsis sp3</i> <i>Tapinoma sp1</i> <i>Tetramorium sp1</i> <i>Cephalote sp2</i>	<i>Camponotus atriceps</i> <i>Pachycondyla sp1</i> <i>Pseudomyrmex oculatus</i> <i>Pheidole sp14</i>
<b>Generalista</b>	<i>Azteca sp1</i> <i>Camponotus cf.rectangularis</i> <i>Camponotus lindigi Mofo1</i> <i>Camponotus planatus</i> <i>Crematogaster sp1</i> <i>Crematogaster sp2</i> <i>Ectatoma tuberculatum</i> <i>Gnamptogenys sp2</i> <i>Hypoponera sp</i> <i>Liometopum sp.</i> <i>Dolichoderus bispinosus</i> <i>Odontomachus sp1</i> <i>Paratrechina longicornis</i> <i>Paratrechina sp1</i> <i>Pheidole sp1</i> <i>Pheidole sp2</i> <i>Pheidole sp4</i> <i>Pheidole sp5</i> <i>Pheidole sp6</i> <i>Pheidole sp7</i> <i>Pheidole sp8</i> <i>Pseudomyrmex gracilis</i> <i>Solenopsis geminata</i> <i>Solenopsis sp2</i> <i>Tapinoma sp2</i> <i>Tapinoma sp3</i> <i>Tapinoma sp4</i> <i>Tetramorium sp2</i>	<i>Atta sp</i> <i>Mycocepurus sp.</i> <i>Camponotus lindigi Mofo2</i> <i>Camponotus sexguttatus</i> <i>Cyphomyrmex sp.</i> <i>Pheidole sp13</i> <i>Pheidole sp3</i> <i>Pseudomyrmex (Ward#4)</i> <i>Pseudomyrmex ejectus</i> <i>Pseudomyrmex pallidus</i>

### **Especies Indicadoras**

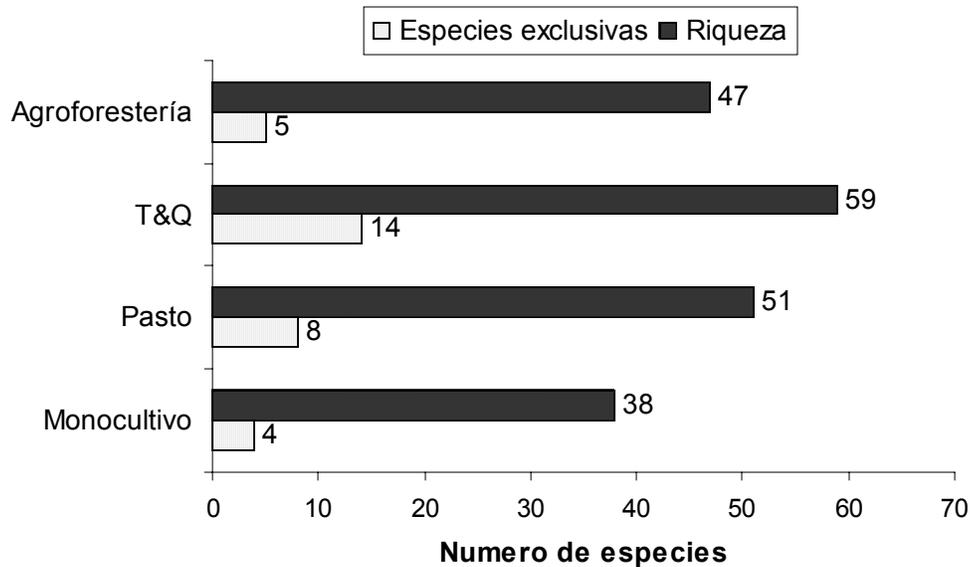
Es posible definir el grado de perturbación de áreas de interés para la conservación, inclusive de reducida extensión, a partir del estudio de la fauna de hormigas. Estas se pueden seguir y monitorear de varias formas, de acuerdo a los planteamientos de Bustos y Ulloa-Chacón (1996)

-Averiguando la presencia o ausencia de especies raras con respecto al hábitat e indicadoras de un determinado estado de sucesión. Para el caso del sistema de tumba y quema; una de las formas de manejo menos perjudiciales ambientalmente entre las cuatro que se comparan; las especies exclusivas fueron *Wasmannia sp* y *Pheidole sp15*; en el pasto fue *Camponotus excisas* y *Prenolepis sp* y para el monocultivo de caña, considerado como el sistema menos amigable con el ambiente, dos especies fueron las exclusivas *Paratrechina sp2* y *Pheidole sp19*.

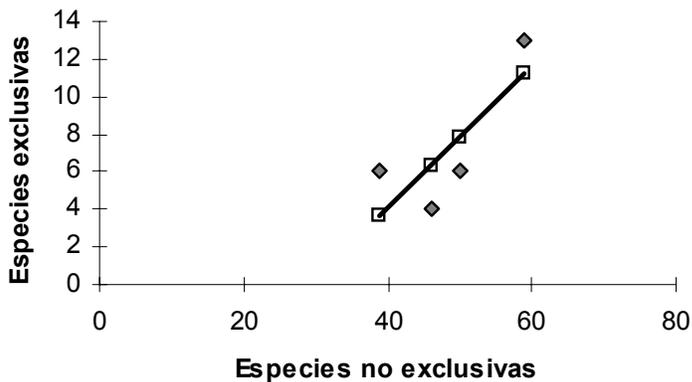
- Estudiando las diferencias de poblaciones en diferentes áreas. Si bien algunas especies son encontradas en varios tipos de sistemas (hábitat) y son demográficamente abundantes, sus poblaciones varían de acuerdo al estado sucesional. Así, *Azteca sp1*, *Camponotus lindigi morfo 1 y 2* y *Pheidole sp5*. son más abundantes en tumba y quema. *Cyphomyrmex sp.* y *Tapinoma sp3* en agroforestería, no encontrándose en el monocultivo; *Gnamptogenys sp2* y *Tapinoma sp4* muy abundantes en las parcelas de pastizal y *Ectatoma tuberculatum*, es la especie dominante en el sistema de caña de azúcar.

- Caracterizando grupos funcionales de hormigas, ya sea por la dieta (como el caso de *Cyphomyrmex sp* o *Strumigenys sp.*), pero igualmente el sustrato de anidamiento, el estrato de forrajeo así como otras variables nos permiten identificar especies asociadas a condiciones de hábitat específicas.

**Fig.5.** Riqueza y número de especies exclusivas en los cuatro tratamientos. Se considero como especies exclusivas todas aquellas que aparecieron en un único tratamiento, con alta o baja frecuencia de captura durante todo el muestreo.



Se tomo como criterio de exclusividad aquellas especies que se encontraron en un único sistema agrícola, independientemente de la abundancia (numero de eventos de captura) que acumulo cada una de estas (categorías 1 y 2 de la Tabla de Rabinowitz). En total se registraron 31 morfoespecies exclusivas que corresponden al 37.8 % de las especies encontradas. De las especies exclusivas, el 45.2% fue capturado en el sistema de tumba y quema, siendo éste el que más apporto a la riqueza total de formicinas, el 25.8% lo registro el pastizal y seguido por el sistema de agroforestería con el 16.1%, el monocultivo fue el que apporto la menor cantidad de especies exclusivas con el 12.9% (Figura 5).



**Fig.6** Curva de Regresión ajustada entre el numero de especies exclusivas y el numero de especies no exclusivas en cada sistema agrícola ( $y=0.3756x-10.967$ ;  $R^2=0.99$ )

El número de especies presentes en solo un sistema (exclusivas) se relaciono positivamente con la riqueza (S) de cada sistema. La regresión entre el numero de especies exclusivas y el numero de especies no exclusivas fue significativa ( $R^2=0.99$ ;  $N=4$ ), lo que indica que la cantidad de especies que se encontraron en un único sistema esta altamente relacionado con la riqueza total del mismo.

### Diversidad $\beta$ o Heterogeneidad entre Sistemas Agrícolas

El índice de similitud de Jaccard promedio (índice cualitativo) entre los diferentes sistemas agrícolas fue de 0.37 (SD=0.095), mientras que Morisita Horn, altamente influido por el numero de capturas de cada morfoespecie (Índice cuantitativo) fue de 0.6 (SD=.22).

**Tabla 9.** Índices de similitud de Jaccard y Morisita Horn para cada sistema agrícola a través del tiempo de muestreo. (Calculados con el programa EstimateS versión 6.1, Colwell, R).

Sistema Agrícola		Índice de Jaccard (Ij)	Índice de Morisita Horn (Im)
Tumba y quema	Promedio	0,398	<b>0,445</b>
	Desv. estandard	0,11272	<b>0,23411</b>
Pasto	Promedio	0,372	<b>0,643</b>
	Desv. estandard	0,06713	<b>0,11519</b>
Agroforestería	Promedio	0,327	<b>0,613</b>
	Desv. estandard	0,07088	<b>0,29818</b>
Monocultivo	Promedio	0,383	<b>0,738</b>
	Desv. estandard	0,11823	<b>0,1399</b>
	<b>Promedio general</b>	<b>0,37</b>	0,60975
	Desvest general	0,095273	0,22849

El índice de Morisita Horn (Tabla 9) muestra que las comunidades de hormiga en el monocultivo de caña presentaron el mayor índice de similitud entre muestreos ( $Im=0.738$ ); lo que indica que los cambios a través del tiempo fueron pequeños para este sistema ( $\approx 27\%$ ), mientras que en tumba y quema los cambios entre muestreos fueron mayores ( $Im=0.445$ ) revelando cambios significativos a medida que pasa el tiempo y el proceso de sucesión ecológica avanza.

Al comparar los sistemas entre pares, el sistema agroforestal es muy similar, según el índice de Jaccard, con el pastizal (0.52) y con el monocultivo (0.56), mientras que este ultimo y el sistema de tumba y quema fueron los menos parecidos ( $Ij=0.4$ ).

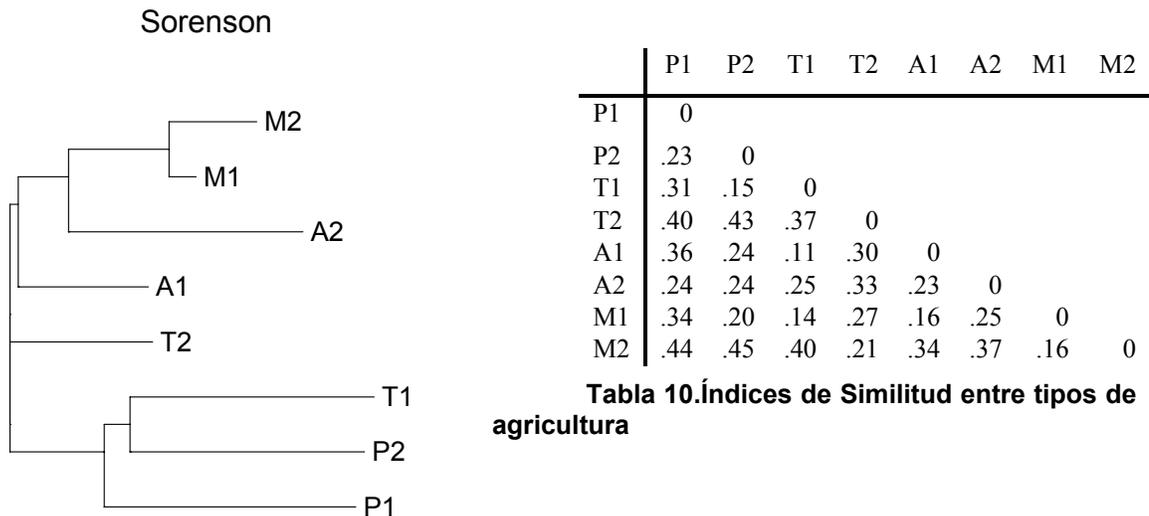
También se calculó el índice de similitud de Jaccard para ver la diferencia de sitios dentro de cada práctica agrícola y se encontró que las parcelas mas cercanas geográficamente (monocultivo) fueron las que comparten mayor numero de especies ( $Ij=0.74$ ), y las parcelas menos similares fueron las de agroforestería y pastizal ( $Ij=0.45$ ), aunque el índice también fue bajo entre las dos de tumba y quema ( $Ij=0.47$ )

## Similitud entre tipos de Agricultura

En la figura 3 se pueden observar tres grandes grupos; el primero formado por las dos parcelas de monocultivo y las de los sistemas agroforestales. El segundo grupo, formado por las dos muestras de pasto y una de las parcelas de tumba y quema y finalmente un grupo conformado por un solo tratamiento, la parcela dos de tumba y quema.

En general, los resultados de agrupamiento indican que la estructura que presentan las comunidades de hormigas esta determinada por dos factores: el tipo de agricultura y la posición geográfica. Así, las parcelas que comparten el mismo tratamiento están mas cercanas entre si, pero también la posición geográfica (condiciones ambientales locales) muestran cierta influencia en el ensamblaje que presentan las comunidades de hormigas en una practica agrícola determinada (G. Luna, pers. obs).

**Fig 6.** Dendrograma de Agrupamiento según índice de similitud de Sorensen (no incluye abundancia). Dos parcelas por cada tratamiento. M1 = Monocultivo parcela 1. M2= Monocultivo parcela 2 T1=Tumba y Quema La Union. T2= Tumba y Quema Mr Cloyd .A1= Agroforesteria Mr.Cloyd A2= Agroforestería Henry. P1= Pastizal Bodega. P2 = Pastizal La Unión.



Ahora, si se analiza a una escala más pequeña, se puede observar que las dos parcelas de monocultivo están muy cercanas entre si: se trata de la misma práctica agrícola, son similares en la composición florística, contexto e historia y quedan ubicadas en el mismo sitio geográfico. Luego, la parcela 2 de agroforestería, aunque es una práctica muy diferente, se encuentra en el mismo grupo probablemente por la influencia geográfica, pues se encuentra en una finca relativamente cercana al monocultivo. En ese mismo grupo, pero un poco mas alejada (Fig.6), está agroforestería 1, la cual comparte grupo porque se trata de la misma practica agrícola, aunque con algunas variaciones en el diseño de la finca que pudieran influir en el ensamblaje de la comunidad de hormigas en cada finca.

Las parcelas de tumba y quema 1 y pastizal 2, ubicadas en la misma comunidad (a 3km de distancia) resultaron muy similares (cercanía geográfica), mientras que la parcela de pastizal 1 se ubico en otra comunidad, en dirección opuesta a la primera, sin embargo, por tratarse de la misma practica agrícola la composición de la comunidad de

hormigas reflejo dicha cercanía estructural, ubicando a las tres parcelas en el mismo grupo.

Finalmente, la parcela 2 de tumba y quema, mostró una mirmecofauna diferente a las demás, reflejándose en la ubicación que presenta en el dendrograma. Quizás debido a que se encuentra retirada geográficamente de su homóloga y además, la historia de los sitios es diferente y la cultura de los campesinos también difiere. Esta segunda parcela esta en Roky point, en un área sujeta a inundaciones temporales, la vegetación es poco distinta a la parcela 1 y el cultivo cosechado en ambas, antes de iniciar el estudio también fue diferente (maíz en una y arroz de swampo en la otra).

### Relación entre Variables Vegetativas y Poblaciones de Hormigas

Algunos autores han sugerido que las poblaciones de hormigas responden rápidamente a cambios que ocurren en la vegetación de un sitio (Mackay *et al* 1991; Bustos y Ulloa-Chacón 1997). Para ver la relación entre las hormigas y diferentes variables vegetativas en los cuatro sistemas estudiados, tome como referencia los datos encontrados por Griffith (2004) en las mismas parcelas donde realice el censo de hormigas.

A pesar que el patrón que siguen los resultados para las plantas según Griffith (2004) es el mismo que se encontró para las hormigas en este estudio (Fig.?) los análisis de correlación de Pearson no mostraron ninguna relación significativa entre la riqueza y abundancia de hormigas contra las variables vegetales medidas.

Tabla ¿?. Coeficiente de correlación de Pearson. Tasas de cambio de la Riqueza y abundancia de hormigas con el tiempo vrs. Tasas de cambio del área basal, altura promedio, densidad y riqueza observada y esperada de árboles remanentes.

Hormigas	Árboles remanentes					
	Área basal	Altura promedio	Densidad(ind/m <sup>2</sup> )	Riqueza (observada)	Riqueza (esperada)	
Riqueza	0.1	0.146	0.072	0.16	0.149	
Abundancia	0.166	0.22	0.16	0.36	0.44	

La relación entre la riqueza y abundancia de hormigas con las cuatro variables para arboles remanentes es positiva, aunque no significativa.

Tabla ¿?. Coeficiente de correlación de Pearson. Tasas de cambio de la Riqueza y abundancia de hormigas con el tiempo vrs. Tasas de cambio de cobertura por hierbas, bejucos, leñosas, área basal, altura promedio, densidad y riqueza observada y esperada de plantas nuevas.

Plantas Nuevas	Hormigas	
	Riqueza	Abundancia
Cobertura por hierbas	0.16	0.43
Cobertura por bejucos	-0.12	0.04
Cobertura por leñosas	0.13	0.25
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	0.1	0.166

Altura promedio (m)	0.146	0.22
Densidad (individuos/m <sup>2</sup> )	0.072	0.163
Riqueza (observada)	0.17	0.36
Riqueza (estimada)	0.15	0.42

Las variables medidas para las plantas que van apareciendo conforme el sistema se recupera, tampoco parecen tener relación significativa con la riqueza ni la abundancia de hormigas, aunque al igual que para árboles remanentes, el valor del coeficiente entre la abundancia de hormigas y la riqueza estimada de plantas nuevas se acerca a 0.5. (tabla 4).

## **Discusión**

La mirmecofauna en los sistemas agrícolas de la R.A.A.S. presenta una alta riqueza específica a pesar de tratarse de áreas que han sido muy perturbadas. Uno de los posibles factores que influye en esta riqueza es el mosaico de paisajes que posee el sitio, compuesto por áreas con diferentes tipos de manejo, de suelos y de vegetación, los cuales permiten la creación de diversos microambientes (Estrada y Fernández 1999).

Al tener lugares con diferentes tipos de manejo se da la oportunidad que especies de hormigas con diferentes requerimientos nutricionales y climáticos habiten allí y que estos ecosistemas alberguen, además de las especies especialistas, propias de lugares poco perturbados, otras que sean generalistas, que son las que se encuentran con frecuencia en los suelos de áreas intervenidas.

El área estudiada esta dominada taxonómicamente por las subfamilias *Myrmicinae*, *Formicinae* y *Dolichoderinae*.

Los sistemas agrícolas comparados no presentaron diferencias estadísticas significativas en la riqueza de especies observada, sin embargo, es claro el patrón que mostraron los sistemas con respecto al nivel de intensificación agrícola. El sistema con mayor número de morfoespecies corresponde al tratamiento de tumba y quema, seguido del pastizal y agroforestería. El sistema de monocultivo es quizás uno de los casos más ilustrativos y extremos de cómo la intensificación agrícola afecta negativamente la biodiversidad (Perfecto y Vandermeer 2000). Las parcelas de monocultivo exhiben una comunidad de hormigas alterada, donde la riqueza de géneros y especies es considerablemente reducida (39 morfoespecies). Estos resultados pueden ser explicados en parte, por la lejanía de las parcelas con respecto al bosque y el tiempo de uso, ya que fueron utilizadas por muchos años con tecnología pesada, altas concentraciones de agroquímicos, quemas y finalmente la mala matriz en la que se encuentran inmersas. Resultados que se corresponden con lo observado por otros autores tales como Majer (1983), Roth y Perfecto (1994) y, Aldana y Cachón-Ulloa (1999).

Al hacer un análisis general de todas las variables estudiadas, se puede ver que la riqueza, diversidad y composición de las comunidades de hormiga varía según el tipo de manejo, sitio e historia de cada biotopo lo que puede explicar, al menos en parte, la variación en la composición de las hormigas (Ramírez y Enríquez 2003).

Es interesante que el tratamiento de tumba y quema, a primera vista una estrategia de fuerte impacto, principalmente sobre los organismos del suelo, sea el que acumulo la mayor cantidad de especies seguida por el pastizal, los cuales también son considerados como sistemas poco diversos.

Estos resultados podrían tener diversas implicancias; entre las cuales cabe señalar las técnicas de manejo y el área que cubren los cultivos. Tumba y quema es una practica que se realiza manualmente en pequeños parches (menos de 1ha) inmersos en el bosque o tacotales viejos y son abandonados después de dos a tres años después de la cosecha, mientras que los demás sistemas (monocultivo, agroforestería y pasto) son extensivos y cubren entre 5ha o más, permanecen por mas tiempo (en el caso del monocultivo y agroforestería hasta por 40 años) frenando reiteradamente la regeneración del ecosistema y en algunos casos utilizando químicos que contaminan el suelo.

En las parcelas de tumba y quema la complejidad estructural vegetal y la presencia de hojarasca en el retoño cosechado, es mayor que en el resto de los tratamientos (Griffith 2004) y como resultado las condiciones microclimáticas así como el número de sustratos aprovechables por hormigas (truncos descompuestos, hojarasca, ramitas secas, árboles huecos) para anidamiento o forrajeo, también es mayor. Esto permite a ciertas especies ocupar nichos específicos y eludir la competencia, incrementando la diversidad y exclusividad de las especies (Bustos y Ulloa-Chacón 1996).

En el caso del pastizal, los cambios rápidos en las comunidades de hormigas y la alta riqueza se debe, probablemente, a la presencia de árboles remanentes, los cuales sirven de perchero para aves que aumentan la diversidad vegetal (Griffith, 2004). Además, la poca carga ganadera que aguantan las parcelas estudiadas, evita la compactación grave de los suelos y por tanto la regeneración ocurre mas rápido, dando paso a la colonización de especies de hormigas, (mayormente generalistas) que pueden explotar recursos alimenticios temporales (Hölldobler y Wilson 1990). Esta afirmación se basa en lo encontrado por King y Hutchinson 1976 (citado por Ramírez y Enríquez 2003) quienes encontraron que la riqueza y abundancia de insectos decreció con el aumento de la carga ganadera.

Por otro lado, las parcelas de tumba y quema y del pastizal se encuentran relativamente cerca de bosques secundarios, lo que puede representar fuentes de especies, tanto vegetales como animales que pueden colonizar dichas áreas. Así, los fragmentos, así como los parches de tumba y quema cobran importancia al ser remanentes de la vegetación y que pueden estar ayudando a mantener la diversidad del sitio.

En síntesis, las parcelas de tumba y quema tienen gran valor biológico a esta escala de intensificación y representa un tipo de perturbación intermedia que favorece el mantenimiento de las especies al crear sitios con hábitats heterogéneos y con periodos de uso relativamente cortos. Por otro lado, es indudable que la conversión de bosques en pasturas produce un impacto negativo sobre la biodiversidad; sin embargo, éste podría ser menor si se implementan sistemas silvopastoriles o agroforestales dentro de áreas productivas (Ramírez y Enríquez 2003).

El tratamiento de agroforestería, contrario a lo esperado, presenta menor riqueza y diversidad de especies que el pastizal y tumba y quema, quizás esto se deba a que este sistema no presenta mayor complejidad espacial ni estructural, al menos para las hormigas que viven y forrajean en el suelo. Se trata de pasto natural asociado a árboles de cítrico, con suelos que sufrieron el pisoteo del ganado durante 30 años aproximadamente; éste junto con el tratamiento de monocultivo de caña de azúcar son los sistemas más viejos de los cuatro que se comparan. Sin embargo, aunque la riqueza de especies es un indicador de la diversidad y estado del sistema, es importante tomar en cuenta la identidad de las mismas.

Este sistema además, presenta cierto parecido al tratamiento de pastizal. Probablemente esta similitud en la riqueza de especies (no composición) se deba a que ambos tratamientos son pastizales con algunos árboles de sombra (aunque diferentes especies), sin embargo, es importante mencionar que una parte de las hormigas que faltó por colectar, corresponde a las especies arbóreas, ya que los métodos de muestreo utilizados se limitan a cubrir el estrato suelo y, en el caso del sistema agroforestal, este estrato puede representar un alto potencial en términos de nichos, para las hormigas.

En agroforestería se encontraron especies típicas de ramitas secas (*Pseudomyrmex simplex* y *P. tenuissimus*), especies de hojarasca (*Strumigenys sp* y *Eurhopalothrix sp*) o de suelo (*Wasmannia sp.* y *Gnaptogenys sp1*) cada una con requerimientos de hábitat distintos. Por ejemplo *Pseudomyrmex* aprovecha las fuentes de azúcar que le proveen las plantas y se alimenta de herbívoros, mientras que *Strumigenys sp.* depreda colémbolos (Hölldobler y Wilson 1990)

Pese a lo anterior, si se comparan estos resultados con los obtenidos por Ramírez y Enríquez (2003) en dos sistemas silvopastoriles en el Valle del Cauca, Colombia, vemos que el valor de riqueza en este estudio es mayor que el encontrado por estas autoras. (valor de S=23 y 35 encontrados por Ramírez y Enríquez; S=46 en este estudio) lo que demuestra el alto valor biológico de este sistema, a pesar que presento menor riqueza que el de pastizal.

Por su parte las parcelas de agricultura intensiva experimentaron cambios en la composición mirmecológica, pero estas fueron menos acentuadas y el proceso tomo más tiempo, especialmente en la parcela número dos que se encontraba más distante del bosque (1000mts). Además, ambas parcelas están inmersas en una matriz compuesta de monocultivo de caña de azúcar y el "bosque" es realmente una red de tacotales viejos con vegetación característica de hábitat pionero, en el cual el proceso de sucesión ecológica avanza lentamente. Las especies que sobreviven ahí son las generalistas como *S. geminata*, *E.tuberculatum*, *Odontomachus sp.* *Gnaptogenys sp2*, que pueden hacer sus nidos en el suelo y utilizan una variedad de fuentes de comida, desde semillas hasta ser depredadores. Las hormigas especializadas no sobrevivieron a esta perturbación, y solo una mínima cantidad ha logrado colonizar el área durante los años que lleva de recuperación.

La alta disponibilidad de azúcares en el área, producto del rastrojo de la caña, podría también significar un recurso determinante en la colonización y abundancia de ciertas especies (*Crematogaster sp1*, *Tapinoma sp.* entre otras). Además, en la primera parcela existen algunos arbustos pioneros, que pueden representar nuevos micro

hábitats para las hormigas (*Pseudomyrmex gracilis*, *P. pallidus*; *Crematogaster* sp2) y quizás la causa de la relativamente alta riqueza en este sistema, si se compara con los resultados hallados por Loddo *et al.* (2001) en una plantación de caña en Cuba, donde la riqueza fue de 18 morfoespecies.

Perfecto *et al.*, (1996). observaron el mismo patrón en cultivos de café, donde plantaciones tradicionales con amplia cobertura de árboles (60-90 por ciento), mezclas de leguminosas, frutales y plátanos además de otras prácticas culturales, presentan mayor riqueza de hormigas en comparación con aquellas donde hay aplicación de insumos y la cobertura arbórea es menor o nula.

Se observo como la abundancia relativa de las especies tiende a seguir un gradiente de intensificación, que refleja la diferente composición de especies para cada sistema y permite visualizar como la complejidad de cada hábitat aumenta a medida que el sistema es menos intensivo. Los cambios en la composición de especies con el tipo de manejo, pueden atribuirse a los diferentes requerimientos alimenticios, de anidación y microclimáticos que las hormigas poseen y que las hacen más abundantes en ciertos sitios. (Bustos y Ulloa –Chacón 1996). El haber encontrado diferencias en la abundancia y la composición de las especies en cada sistema es importante por varias razones: primero, la abundancia de algunas especies nos pueden indicar de manera general el estado en que se encuentra el sistema, segundo porque nos da una idea de la cantidad y el tipo de recursos disponibles para hormigas y tercero porque la abundancia de ciertas especies determina las relaciones interespecíficas que se dan en la comunidad.

En adición, la diferencia en abundancia entre los sistemas podría explicarse por dos factores: el efecto de sitio y el grado de recuperación de las parcelas (historia del sitio). Esta explicación se sustenta, en el hecho que las parcelas con mayor abundancia son las que fueron utilizadas menor tiempo por sus dueños (e.g. tumba y quema y el pastizal) al contrario de los sistemas menos diversos y más antiguos (agroforestería y monocultivo).

Al final del estudio los tratamientos de tumba y quema y agroforestería fueron los que presentaron el mayor numero de capturas; esto puede atribuirse, en parte, a la presencia de árboles en las parcelas de agroforestería, algunos de los cuales quedaron incluidos en las subparcelas, cambiando las condiciones del microhábitat; algunas poblaciones crecieron como consecuencia del cambio y empezaron a dominar el sistema (en el caso del sistema agroforestal) y en respuesta a variaciones como una mayor heterogeneidad vegetal, disponibilidad de sitios para anidar y forrajear, mejoramiento del clima local, entre otros, en las parcelas de tumba y quema.

Paradójicamente, al inicio del muestreo, la abundancia relativa en el tratamiento de agroforestería, y las plantaciones de caña de azúcar (monocultivo) fue más o menos similar a pesar que estos dos tratamientos representan los dos extremos en el gradiente de intensificación; probablemente esto se deba a que ambos sistemas tienen la mayor edad en términos de establecimiento. Son sistemas más estables en el sentido que, la vegetación que cubre el área presenta pocos cambios, al menos visibles, por lo que las poblaciones de hormigas que en ellos se encuentran, ya están bien establecidas; mientras que las parcelas de tumba y quema (Tumba) y de pastizal (Pasto) son sistemas relativamente jóvenes en el que todas las especies de hormigas

tienen la misma oportunidad para colonizar el área, el proceso de competencia esta iniciando y por lo tanto, el tamaño de las poblaciones (o sea la abundancia) es relativamente similar entre todas las especies.

Las curvas de acumulación de especies indican que existe un cambio en la abundancia de las especies cuando incrementa el número de capturas y también a medida que avanza el tiempo, lo que refleja avances en el proceso de sucesión (a pequeña escala) en todos los sistemas, aunque en algunos con mayor rapidez que en otros. Resultados que se corresponden con los encontrados por Estrada y Fernández (1999) en un gradiente sucesional de bosque nublado en Colombia. Igualmente, es notorio el incremento en el número de especies, que sigue acumulando el tratamiento de tumba y quema, lo que podría interpretarse como una mayor rapidez en la recuperación del sistema después de esta practica agrícola.

El bajo índice de similitud entre la mayoría de cada par de parcelas del mismo tratamiento también sugiere el impacto que tiene la acción humana y sus diversos modos de manejo sobre los sistemas agrícolas y ganaderos. Es mas, a pesar que se podría esperar que, por ejemplo, las parcelas de tumba y quema se parezcan mas entre ellas, esto no ocurrió. En cambio la caña de azúcar fue la más pobre en especies, pero fueron las que más similitud presentaron entre ellas, quizás porque se encuentran geográficamente mas cerca y además se trata de la misma plantación, con un solo método de manejo. Aunque, desde otro punto de vista, esto podría interpretarse como sistemas más heterogéneos que pueden seguir acumulando especies, en el caso de las parcelas de tumba y quema, versus sistemas más homogéneos poco diversos que rápidamente llegan a su asíntota, como el monocultivo.

Estrada y Fernández (1999) proponen que en condiciones de alta diversidad, especies más especializadas en el suelo desplazan hacia el dosel a aquellas especies más generalistas que habían dominado el suelo y vegetación en estadios sucesionales de baja diversidad. En este estudio, el dosel no se muestreo, pero sin duda alberga muchas especies que no bajan nunca a estratos epigeos y por lo tanto no se registraron.

Aunque la riqueza de hormigas es mayor en el tratamiento de tumba y quema, si miramos el número de especies exclusivas, se puede decir que todos los biotopos aportan al mantenimiento de la diversidad local y regional de hormigas y por tanto tienen importancia faunística ya que la identidad de las especies que alberga cada sistema difiere.

Es importante resaltar también que el bosque actúa como un reservorio de diversidad, por lo que su cercanía con las parcelas agrícolas que forman la matriz, podría determinar que el flujo de especies entre estas y el bosque sea continuo. Al tener una matriz más heterogénea (como es el caso de los sistemas de tumba y quema y los agroforestales), dichas especies pueden encontrar mayor oferta de alimento y refugio, y a la vez tener la oportunidad de aumentar sus poblaciones y colonizar otros biotopos.

El hecho de no haber encontrado ninguna relación significativa entre las variables vegetativas medidas y la riqueza y abundancia de formicinas, como se ha encontrado también en otros estudios (Ramírez y Enríquez 2003, Roth *et al* 1994), plantea que quizás son otros los factores que pueden estar influenciando la dinámica y composición

de estas comunidades en el agroecosistema, entre los cuales cabe analizar las condiciones microclimáticas (Ríos *et al* 2004), la distancia del bosque, tipos de suelo, tiempo de uso o la combinación de algunos de estos para explicar los resultados.

Por otro lado, la fauna de hormigas en los diferentes sistemas estudiados cumplió muchas de las características planteadas por Majer (1983) necesarias para ser buena bioindicadora. Estas características fueron: preferencia a ciertas condiciones ambientales, gran abundancia, alta riqueza de especies, facilidad en el muestreo y manipulación.

Acorde con los datos reportados por otros estudios (Maes 1998), la información reportada en el presente trabajo constituye uno de los mayores listados de la familia Formicidae confeccionados en Nicaragua, pero sólo significa una primera aproximación a la biodiversidad de esta Familia en la R.A.A.S. por lo que debe completarse de forma notable con estudios posteriores.

## **Conclusiones**

La riqueza y abundancia de hormigas en sistemas manejados en la RAAS es alta, si se compara con los resultados reportados por otros autores en sistemas similares en diferentes partes del trópico (Mackey *et al* 1991; Estrada y Fernández 1999; Loddo *et. al* 2000, Ramírez y Enríquez 2003). Es claro que el tipo de manejo y el nivel de intensificación determina el impacto de una practica agrícola sobre la biodiversidad y su consecuente recuperación, así pues, los sistemas menos intensivos, sin uso de agroquímicos y que cubren espacios de tierra relativamente pequeños como los de tumba y quema, los pastizales con sombra diversa o los sistemas agroforestales, son sistemas viables en la costa Atlántica de Nicaragua y pueden ser sostenibles si se realizan planificadamente. Mientras que los monocultivos y el pastoreo de gran intensidad, que exponen el suelo a procesos erosivos, simplifican la biodiversidad asociada a gran escala y retardan el proceso de sucesión ecológica, amenazan la sustentabilidad del sistema, y por tanto deberían ser sustituidos por prácticas más integrales.

Es innegable que la transformación del bosque a sistemas agrícolas amenaza la supervivencia de muchas especies. Sin embargo, el alto índice de riqueza y diversidad encontrado en los sistemas de tumba y quema y pastizal, indican que estos parches manejados tienen gran valor biológico a pesar de su pequeño tamaño. Además, algunos tratamientos (como tumba y quema y agroforestería) también aportan con especies propias y especies raras a la biodiversidad global de Formicidae en la R.A.A.S., en mayor número que otros sistemas más tecnificados. Este resultado, aunque aislado y sin replicas, sugiere el potencial de los sistemas manejados para la conservación y promoción de la riqueza de ciertos organismos.

Según Armbrecht y Chacón- Ulloa (1997) los pocos estudios sobre diversidad de artrópodos en paisajes fragmentados del trópico, revelan que existe un potencial para manejar los agroecosistemas existentes de tal manera que se logre mejorar su capacidad para la conservación de artrópodos y otros organismos.

Estos resultados sugieren la necesidad de incluir dentro de las estrategias de manejo y conservación (como los corredores biológicos, planes de manejo, entre otros), sistemas

agrícolas heterogéneos que incluyan diversidad de ambientes (e.g. cobertura vegetal, riqueza de especies y tipos de suelo) que promuevan el incremento de la diversidad de hormigas y de otros organismos (Estrada y Fernández 1999) y que a su vez faciliten el movimiento de las especies dentro de la matriz agrícola y entre los fragmentos.

El estudio más detallado de los ensamblajes de hormigas en estos sistemas agrícolas permitirá comprender lo que ocurre con una variedad de organismos generalistas en los ambientes manejados. Sin embargo, no se puede considerar que las hormigas reflejen con fidelidad lo que ocurre con organismos más especializados. Estos deberán ser el objeto de estudios más específicos.

Finalmente, este trabajo representa un aporte al conocimiento de la comunidad de hormigas en sistemas manejados tan complejos como los de la Costa Atlántica de Nicaragua, con miras a sistemas productivos más sustentables, es decir, que puedan ser rentables en el presente sin comprometer la sobrevivencia de las futuras generaciones. Es importante dirigir la producción hacia sistemas productivos más amigables con el ambiente y que trate de conjugar los parámetros para obtener niveles aceptables de producción y al mismo tiempo el mantenimiento de la biodiversidad, promocionando así una matriz agrícola heterogénea que permita la conectividad entre los fragmentos de bosque que aun quedan en la Región y que a su vez representan los remanentes más grandes e importantes del país.

### **Recomendaciones**

- Además de los cebos de atún, es necesario utilizar trampas de caída (e.g. pitfall) sobre el suelo, para capturar aquellas especies que no están atraídas al atún (por ser herbívoras o fungívoras) y aquellas que forrajean durante la noche, también es recomendable hacer recolección de hojarasca y ramitas secas, para especies de hábitos especialistas, y que rara vez caen en los cebos o trampas, pero que forman parte de la mirmecofauna del suelo.
- Plantear futuros estudios en los que se analice como influye la estacionalidad, el tiempo de uso, la carga animal y los periodos de descanso sobre los ensamblajes de hormigas en los sistemas de pastizal (pasto o silvopasturas)
- Muestrear las comunidades de hormigas que se encuentran en el dosel (especies arbóreas), principalmente en los sistemas agroforestales; y de esta manera capturar la totalidad de la fauna de hormigas del sistema
- Complementar el estudio, muestreando el punto inicial del proceso de sucesión (cultivos activos) y el punto final de dicho proceso (bosque primario) para ver como se comportan los sistemas con respecto a estos.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

ACADEMIA SUECA DE LAS CIENCIAS. 1992. Diez millones de especies en manos de una. Revista. Ecología.10: 30-39.

AIZEN, M. 1997. Coevolución de plantas y animales: Las interacciones biológicas como fuente de cambio evolutivo recíproco. [en línea]  
[http:// www.elistas.net/lista/hormigas](http://www.elistas.net/lista/hormigas) [consulta 15 de julio de 1999]

ARMBRECHT, I. Y P. CHACON-ULLOA. 1997. Composición y diversidad de hormigas en bosques secos relictuales y sus alrededores en el Valle del Cauca, Colombia. Revista Colombiana de Entomología 23(1-2): 45-50.

----- y ----- . 1999. Rareza y diversidad de hormigas en fragmentos de bosque seco colombianos y sus matrices. Biotropica, 31(4): 646-653.

----- . 2000. Efecto de borde en dos hábitats contrastantes sobre hormigas de suelo. En Prensa. Universidad de Michigan. U.S.A.

AYALES, I., P. MADRIGAL, V. SOLIS Y M. MAROZZI. 1997. Uso sostenido de la Biodiversidad en Meso-América: Hacia la profundización de la democracia. UICN. San José, Costa Rica. 88 pp.

ALTIERI, M. 1976. Regulación ecológica de plagas en agroecosistemas tropicales. UN-ICA. Bogotá, Colombia.177 pp.

----- .1992. Biodiversidad, Agroecología y Manejo de Plagas. CETAL-Ediciones. Valparaíso, Chile.162 pp.

ANTONIO, C. 1999. Consideraciones generales sobre insectos.  
[antonio@insectariumvirtual.com](mailto:antonio@insectariumvirtual.com) [en línea]  
<http://www.insectariumvirtual.com/hormigas.htm>. [ consulta 4 de septiembre de 1999]

BRENES, C. Y E. CASTILLO. 1999. Hidrografía de la Bahía de Bluefields, Nicaragua. Proyecto para el Desarrollo Integral de la Pesca Artesanal en la R.A.A.S. (DIPAL). Managua, Nicaragua. 22 pp.

BUSTOS, J Y P. ULLOA-CHACON. 1996. Mirmecofauna y perturbación en un bosque de niebla neotropical (Reserva Natural Hato Viejo, Valle del Cauca, Colombia). Revista de Biología Tropical 44 (3) /45 (1): 259-266.

BUCKLEY, R. 1982. Ant-Plant interactions: A world Review. En: Buckley R.C. (Editor), Ant-Plant interactions in Australia. pp 111-114.

BEATTIE, A. 1985. The evolutionary ecology of ant-plant mutualisms. Cambridge University Press.182 pp.

COLWELL, R. 1997. EstimateS: Statical Estimation of Species Richness and Shared Species from Simple. Version 6.1 User's Guide and application published at:  
<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.

CARROLL, C. 1983. Costa Rican Natural History: Azteca ants. University of Chicago press. Chicago, U.S.A. 691-693 pp.

DATO, E. 1998. Bioindicación en sistemas acuáticos. [en línea] <http://www.interbook.net/personal/aymas/> [consulta 13 de mayo 1999]

DE LA CERDA, I. Base de datos: parcelas de post-agricultura. R.A.A.S, Nicaragua. [en línea] <http://www.biology.lsa.umich.edu/research/hurricane/post-ag.html> [consulta 1 de agosto 2000]

ESTRADA, C. Y F. FERNANDEZ. 1999. Diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en un gradiente sucesional del bosque nublado (Nariño, Colombia) Rev. Biol. Trop. vol 47 (1-2): 189-201 ISSN 0034-7744.

FERNANDEZ, F.; E. PALACIO; W. MACKEY Y E. MACKEY. 1996. Introducción al estudio de las hormigas (Hym. Formicidae) de Colombia. pp.349-394. *En insectos de Colombia, estudios escogidos*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleras. No.10. Coedición con el Centro Editorial Javeriano. Santa Fé de Bogotá. 541 pp.

FERGUSON, B. 2001. Post-agricultural tropical forest succession: Patterns, processes and implications for conservation and restoration. Tesis de Doctorado en Biología. Departamento de Biología, Universidad de Michigan. Ann Arbor, E.U.A. 205 pp.

GOMEZ, J. M. Y R. ZAMORA. 1992. Pollination by ants: consequences of the quantitative effects on a mutualistic system. *Oecologia*, 91:410-418.

HART, R. 1985. Agroecosistemas: Conceptos básicos. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 159 pp.

HOLDRIDGE, L. 1996. Ecología basada en zonas de vida. Cuarta reimpresión. IICA. San José, Costa Rica. 216 pp.

HÖLLDOBLER, B. Y E.O. WILSON. 1990. The Ants. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 732 pp.

JAFFE, K.; J. LATTKE, Y E. PEREZ. 1993. El mundo de las hormigas. Equinoccio Editores, Universidad Simón Bolívar, Caracas Venezuela. 196 pp.

KOLMANS, E. Y VASQUEZ, D. 1996. Manual de Agricultura Ecológica. Editorial Enlace. Managua, Nicaragua. 222 pp.

KNAEBEL, S. 1998. Las mariposas como especies indicadoras. Universidad de Michigan. U.S.A. Informe de Campo, Curso Biodiversidad. CIDCA.

KLEIN, B. 1989. Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in central amazonia. *Ecology* 70 (6): 1715-1725.

LONGINO, J.T., Y R.K COLWELL. 1997. Biodiversity assessment using structured inventory: capturing the ant fauna of a tropical rain forest. *Ecol. Appl.* 7:1263-808.

LOBRY DE BRUYN, L. 1999. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 425-441.

LORD, J., Y D. NORTON. 1990. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conserv. Biol.* 4:197-202.

LODDO, Z.; M. RODRÍGUEZ; C. GRANADO Y R. LABRADA. 2001. Diversidad de la comunidad de hormigas en un agroecosistema de caña de azúcar en Cuba. *Revista electrónica Granma Ciencia. Vol.5, No. 3. Issn 1027-975x*

LUDWING, J. Y J. REYNOLDS. 1988. *Statistical Ecology*. John Wiley & Sons, New York. 336 pp.

LUNA, L. 1999. Caracterización Biofísica del humedal de la lechería de EARTH, Guácimo, Limón; Atlántico de Costa Rica. Proyecto de Graduación. EARTH, Guácimo, Costa Rica. 58 pp.

MAES, J.M. 1998. *Insectos de Nicaragua. Volumen I y II*. PRINT- León. León, Nicaragua. 1169 pp.

----- . [jmmaes@ibw.com.ni](mailto:jmmaes@ibw.com.ni). [en línea]

<http://www-museum.unl.edu/research/entomology/workers/Jmaes.htm>

<http://www-museum.unl.edu/research/entomology/database2/honduintro.htm> [consulta 10 de diciembre 2000]

MACKAY, W. Y VINSON, S. 1989. A guide to the species identification of New World ants. *Sociobiology* 16:3-47.

----- Y E. MACKAY. 1989. Clave de los géneros de hormigas en México. II Simposio Nacional de Insectos. Oaxtepec, Morelos, México. 82 pp.

-----; J-M. MÃES; P. FERNÁNDEZ Y G. LUNA. 2004. The ants of North and Central America: the genus *Mycocepurus* (Hymenoptera: Formicidae). 7pp. *Journal of Insect Science*, 4:27

MAJER, J.; D. AGOSTI; L. ALONSO Y T. SCHULTZ. 2000. Sampling Ground-dwelling Ants: Case studies from the world's rain forests. Curtin University School of Environmental Biology. Bulletin 18. Perth, Australia. 75 pp.

----- . 1983. Ants: bio-indicators of mine-site rehabilitation, land use, and land conservation. *Environmental Management* 7: 375-383.

----- . 1992. Ant recolonization of rehabilitated bauxita mines of Pocos de Caldas, Brazil. *J. Trop. Ecol.* 8:97-108

MYERS, N. 1984. *The Primary Source: Tropical Forest and our future*. W.W. Norton and Company, New York.

MORENO, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza. 84 pp.

MARTÍN-PIERA, F. 1997. Apuntes sobre biodiversidad y conservación de insectos: Dilemas, ficciones y ¿soluciones? Bol. SEA. No.20, monográfico "Los Artrópodos y el Hombre":25-55, Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza, España. 468 pp.

MARINI, O. Y R. MARTINS. 2001. La Teoría de las Metapoblaciones: Nuevos principios en la biología de conservación. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy. Volumen 11- N° 61.

ODUM, E. 1986. Fundamentos de Ecología. Primera edición. Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V. México, DF. México. 422 pp.

PEARSON, D. 1993. Insectos y conservación: una nueva frontera. En Sociedad Venezolana de Entomología (Eds) V. Congreso Latinoamericano y XII Venezolano de Entomología. Resúmenes, Parlar, Venezuela. 245 pp.

----- Y F. CASSOLA. 1992. Worldwide species richness patterns of tiger beetles (Coleoptera:Cicindelidae): Indicator taxon for biodiversity and conservation studies. Conserv. Biol. 6:376-390.

PASOS, R.. 1994. El último despale: la frontera agrícola en Centroamérica. FUNDESCA. San José, Costa Rica. 132pp.

PECK, S.; B. MCQUAID Y L. CAMPBELL. 1998. Using ant species (Hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition. Environ. Entomol. 27(5): 1102-1110.

PERFECTO, I.; A. ROBERT; G. RUSSELL Y M. VANDER VOORT. 1996. Café de sombra: un refugio de biodiversidad en vías de desaparición. Bioscience 46 (8) 598-608.

----- Y CASTAÑEIRAS, A. 1998. Deployment of the predaceous ants and their conservation in agroecosystems. En: Perspectives on the Conservation of Natural Enemies of pest Species. Barbosa, P. (ed). Academic Press, San Diego, CA.

----- Y J. VANDERMEER. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystems. Oecología, 108: 577-582.

-----; J. VANDERMEER Y PHILPOTT, S. 1999. La comunidad de hormigas en una finca orgánica en Chiapas, México. En Prensa. Universidad de Michigan, Ann Arbor, MI.

PORTA, J., LÓPEZ, M. Y ROGUERO, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. Madrid, España. 807 pp.

RABINOWITZ, D. 1981. Seven forms of rarity. In: The Biological Aspects of Rare Plant Conservation (H. Synge, ed.), pp.205-217. Wiley Chichester.

ROTH, D. S., I. PERFECTO Y B. RATHCKE. 1994. The effects of management systems on ground foraging ant diversity in Costa Rica. Ecol. Appl. 4: 423-436.

RAMIREZ, M. Y M. ENRIQUEZ. 2003. Riqueza y diversidad de hormigas en sistemas silvopastoriles del Valle del Cauca, Colombia. Revista Rural Development 15(1)

-----; P. CHACON DE ULLOA Y Z. CALLE. 2001. Contribución al conocimiento de las interacciones entre plantas, hormigas y homópteros en bosques secos relictuales de Colombia. Caldasia. 23 (2): 523-536.

RIOS. C. L.; B. VALIENTE Y G. RICO. 2004. Las hormigas del valle de Tehuacan (Hymenoptera: Formicidae): Una comparación con otras zonas áridas de México. Acta Zoológica Mexicana (n.s) 20(1): 37-54

RAPIDEL, B., M. TORRES; J. VITERI; F. PICADO; B. TÓRREZ Y G. MEDINA. 2001. Impactos del Cambio Climático en Nicaragua. Grafica Editores. Managua, Nicaragua. 80p.

SEGURA, O., D. KAIMOWITZ Y J. RODRÍGUEZ. 1997. Políticas Forestales en Centroamérica: Análisis de las restricciones para el desarrollo del sector forestal. Editorial IICA. San Salvador, El Salvador. 335 pp.

SOSA, C. 1997. Interacciones entre hormigas y plantas. Revista de Divulgación y Tecnología de la Asociación Ciencia Hoy. Volumen 7-No.40.

VANDERMEER, J.; D. BOUCHER; I. PERFECTO; D. ROTH; T. WILL Y K. YIH. 1990a. El bosque devastado de Bluefields. WANI, 8: 60-73.

----- Y PERFECTO, I. 1991. Los bosques del Caribe de Nicaragua tres años después del huracán Joan. Revista Wani. Managua, Nicaragua. 11:79- 102.

VAN VELZEN, J. 1991. Prioridades para la conservación de la biodiversidad en los Andes Colombianos. Universidad del Cauca, Museo de Historia Natural, Popayán, Colombia. 47pp.

WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Cuarta Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 1045 Editorial IICA pp.

GOTHELLI, N. EcoSim.??

MAPA DE VEGETACION NACIONAL. MARENA-CBA.2002.????

Tabla 1. Descripción de los Sitios

<i>Sitio</i>	Tipo de Manejo	Edad de las parcelas	Replicaciones (Tamaño y ubicación)	Historia
a. Kukra Hill. “Ingenio Agroindustrial S.A.”	Monocultivo	Un año de abandonado	2 parcelas de 1 ha.* cada una. La primera cerca de un tacotal viejo y la segunda a 1000 m de la anterior	Plantaciones de caña de azúcar como monocultivo; datan de los años '60. 770ha comúnmente en cultivo y unas 1020 ha en barbecho.
b. Kukra River. Finca “La Bodega”	Pastizal (1)	Un año de abandonado.	1 parcela de 1 ha.* Ubicada a la par de un bosque secundario.	Fue un parche de bosque secundario hasta 1993, desde entonces es un pastizal con algunos árboles remanentes ( <i>Ceiba</i> , <i>Cordia</i> , <i>Ochroma</i> , entre otros).
c. Caño Negro Cooperativa “La Unión”	Pastizal (2)	Dos años de abandonado	1 parcela de 1 ha.* Establecida a la par de un parche de bosque secundario.	Plantación de palmas hasta 1988, a partir de entonces es un pastizal con algunos árboles de coco.
	Tumba y quema (1)	Un año de abandonada	1 parcela de 1 ha.* Ubicada a unos 3000 m de la rivera del río. Se encuentra cerca de un tacotal viejo.	Campo agrícola abandonado después de cultivar maíz. Antes hubo un bosque secundario.
d. Rocky Point “Finca de los Williams”	Tumba y quema (2)	Abandonada hace un año y medio	1 parcela de 1 ha.* Ubicada en un terreno bajo, rodeado de swampo, y tacotal viejo.	Fue utilizada durante 8-9 ciclos consecutivos para sembrar arroz.
	Agroforestería (1)	Un año de abandonada	1 parcela de 1 ha.* compuesta por árboles de <i>C.alliodora</i> y cítricos. Está rodeada del pastizal activo y colinda con un tacotal viejo	Finca silvopastoril de 35 ha establecida hace 30 años. Dominada por cítricos <sup>14</sup> y árboles de <i>C. Alliodora</i> . Algunos árboles frutales como coco, mango, caimito, pera y aguacate.
d. “Finca de Henry”	Agroforestería (2)	Un año de abandonada	1 parcela de 1 ha.* compuesta por árboles de <i>C.alliodora</i> y cítricos. Está rodeada del pastizal activo y colinda con un tacotal viejo	Finca agroforestal de 40 ha establecida hace 23 años. Actualmente 7ha. están sembradas de yuca, frijoles y maíz, y en las 33has. restantes se encuentran dispersos árboles frutales de coco, mango, caimito, pera y aguacate.

\* Cada Parcela de 1ha. se divide en tres sub-parcelas de 20x10m

<sup>14</sup> La mayoría de los árboles de cítrico fueron sembrados desde que se estableció la finca.

## LISTA DE HORMIGAS DE LA R.A.A.S.

### I. SUBFAMILIA DORYLINAE (ECITONINAE)

#### Ia. TRIBU ECITONINI

#### LABIDUS

1. *Labidus coecus*

### II. SUBFAMILIA PONERINAE

#### IIa. TRIBU ECTATOMMINI

#### ECTATOMA

2. *Ectatoma tuberculatum*

#### GNAPTOGENYS

3. *Gnaptogenys sp1*
4. *Gnaptogenys sp2*

#### PARAPONERA

5. *Paraponera clavata*

#### Iib. TRIBU PONERINI

#### HYPOPONERA

6. *Hypoponera sp.*

#### PACHYCONDYLA

7. *Pachycondyla sp1*
8. *Pachycondyla sp2*

#### Iic. TRIBU ODONTOMACHINI

#### ODONTOMACHUS

9. *Odontomachus sp1*

### III SUBFAMILIA PSEUDOMYRMECINAE

#### PSEUDOMYRMEX

10. *Pseudomyrmex ejectus*
11. *Pseudomyrmex (Ward#4)*
12. *Pseudomyrmex pallidus*
13. *Pseudomyrmex simplex*
14. *Pseudomyrmex oculatus*
15. *Pseudomyrmex ita*
16. *Pseudomyrmex tenuissimus*
17. *Pseudomyrmex gracilis*

### IV. SUBFAMILIA MYRMICINAE

IVa. TRIBU MYRMICINI

PHEIDOLE

18. Pheidole sp1
19. Pheidole sp2
20. Pheidole sp3
21. Pheidole sp4
22. Pheidole sp5
23. Pheidole sp6
24. Pheidole sp7
25. Pheidole sp8
26. Pheidole sp9
27. Pheidole sp10
28. Pheidole sp11
29. Pheidole sp13
30. Pheidole sp14
31. Pheidole sp15
32. Pheidole sp16
33. Pheidole sp17
34. Pheidole sp18
35. Pheidole sp19

IVb. TRIBU CARDIOCONDYLINI

CARDIOCONDYLA

36. Cardiocondyla sp

IVc. TRIBU CREMATOGASTRINI

CREMATOGASTER

37. Crematogaster sp1
38. Crematogaster sp2

IVd. TRIBU SOLENOPSISINI

OLIGOMYRMEX

39. Oligomyrmex sp

SOLENOPSIS

40. Solenopsis geminata
41. Solenopsis sp1
42. Solenopsis sp2
43. Solenopsis sp3

IVe. TRIBU TETRAMORINI

TETRAMORIUM

44. Tetramorium sp1

45. Tetramorium sp2

46. Tetramorium sp3

IVf. TRIBU OCHETOMYRMICINI

WASMANNIA

47. Wasmannia sp.

IVg. TRIBU CEPHALOTINI

PROCRYPTOCERUS

48. Procryptocerus sp1

ZACRYPTOCERUS

49. Zacryptocerus sp1

50. Zacryptocerus sp2

51. Zacryptocerus sp3

IVh. TRIBU DACETINI

STRUMIGENYS

52. Strumigenys sp

IVi. TRIBU BASICEROTINI

EURHOPALOTHRIX

53. Eurhopalothrix sp

IVj. TRIBU ATTINI

ATTA

54. Atta sp

CYPHOMYRMEX

55. Cyphomyrmex sp.

MYCOCEPURUS

56. Mycocephurus sp

V. SUBFAMILIA DOLICHODERINAE

Va. TRIBU DOLICHODERINI

MONACIS

57. Monacis sp.

Vb. TRIBU TAPINOMINI

AZTECA

- 58. Azteca sp1
- 59. Azteca sp2
- 60. Azteca sp3

#### LIOMETOPUM

- 61. Liometopum sp

#### TAPINOMA

- 62. Tapinoma sp1
- 63. Tapinoma sp2
- 64. Tapinoma sp3
- 65. Tapinoma sp4
- 66. Tapinoma sp5

### VI. SUBFAMILIA FORMICINAE

#### VIa. TRIBU PLAGIOLEPIDINI

#### ACROPYGA

- 67. Acropyga sp

#### VIb. TRIBU CAMPONOTINI

#### CAMPONOTUS

- 68. Camponotus cf.abdominalis
- 69. Camponotus sp1
- 70. Camponotus sp2
- 71. Camponotus cf.rectangularis
- 72. Camponotus sp3
- 73. Camponotus cf.striatus
- 74. Camponotus sp4
- 75. Camponotus sp5
- 76. Camponotus sp6

#### VIc. TRIBU LASIINI

#### PARATRECHINA

- 77. Paratrechina longicornis
- 78. Paratrechina sp1
- 79. Paratrechina sp2

#### PRENOLEPIS

- 80. Prenolepis sp