

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS



Maestría en Ciencias en Manejo de Zonas Áridas

**LAS HORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) DEL ÁREA PERIURBANA DE
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA: EFECTOS DE LOS COMPONENTES ECOLÓGICOS
GEOGRÁFICOS SOBRE LA RIQUEZA DE ESPECIES**

Tesis

Que presenta

Alejandro Enrique Mieles García

Como requisito parcial para obtener el grado de
**Maestro en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas
Áridas**

Ensenada, Baja California, Agosto de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS

Tesis

**LAS HORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) DEL ÁREA PERIURBANA DE
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA: EFECTOS DE LOS COMPONENTES ECOLÓGICOS
GEOGRÁFICOS SOBRE LA RIQUEZA DE ESPECIES.**

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

Presenta

Alejandro Enrique Mieles García

Aprobada por:



Dr. Roberto Martínez Gallardo

Director



Dr. Pedro Peña Garcillán

Codirector



M.C. Bernardino Ricardo Eaton González

Sinodal



Dr. Philip S. Ward

Sinodal

Aprendí administración de las hormigas; música, oyendo los aguaceros; escultura buscando parecido a los seres en las líneas de las rocas; color, en la luz; y poesía, en toda la naturaleza.

Salvador Rueda

Dedicado a:

Mi familia por su constante e incansable apoyo en cada paso que doy, todo lo que soy se lo debo a ellos. A mi madre Haydee de quien he aprendido a levantarme cada vez que he caído y aprender de mis errores, a mi viejo Enrique por su cariño. A mis hermanas de quienes he recibido el mejor de los apoyos su amor y cariño, a mi hermano a quien espero servir de ejemplo para que haga de su vida algo útil, a mis hermosas sobrinas a quienes amo con mi vida, a mis segundos padres Galo y Cecilia, de quienes he recibido el mejor de los ejemplos que es la lucha constante para ser mejores. Y para ti, Any que has logrado enseñarme a seguir adelante y nunca darme por vencido.

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de la maestría ha sido un privilegio trabajar con la colaboración de mis profesores y el apoyo de mis amigos, por lo cual quiero agradecer en primer lugar al CONACYT por su apoyo no solo a estudiantes mexicanos, sino también a extranjeros.

A la Universidad Autónoma de Baja California, por su apoyo educativo, financiero y acogida durante mi estancia.

Al Centro de Investigaciones Científicas y Educación Superior de Ensenada, principalmente al Departamento de Entomología, por permitirme hacer uso de sus instalaciones y equipos, si su ayuda este trabajo no habría sido posible.

A mis queridos maestros de MEZA que con su sapiencia supieron guiarme por la difícil senda del conocimiento y en particular al Dr. Roberto Martínez, Pedro P. Garcillán y Ricardo Eaton por su **paciencia** durante nuestras largas sesiones de arduo trabajo para sacar adelante esta tesis y sobre todo por su amistad. También quiero agradecer al Dr. Phil Ward por su ayuda, amistad, hospitalidad y sabios consejos.

Un agradecimiento especial por su invaluable ayuda logística al Dr. Roberto Martínez, Ileana Espejel, Ricardo Eaton y a los fondos familiares Ortega. A William Clark, Paul Blom y Horacio de la Cueva, por su valiosa ayuda en el laboratorio de Entomología del CICESE.

Un agradecimiento a Diana Saucedo y Ma. Fernanda Echavarría por su ayuda en el laboratorio y salidas de campo.

A mis queridos compañeros y AMIGOS de la generación 2008, Adriana, Alejandra, Ana Huaico, Ana María, Érica, Fernando, Leo, Miriam, Nena y Violeta que con toda seguridad han sido la mejor de las generaciones que ha tenido la Maestría (MEZA) y en especial Any, mi compadre Fer, Miriam y Viole, cuatro personas fantásticas con quienes compartí momentos inolvidables, siempre serán una parte especial de mi vida.

A mis amigos que a la distancia siempre estuvieron pendientes de mi y apoyándome, Alizon, Lore, Julio, Lucho, Pili, Nancy, Germania y a los ingenieros Cueva Analu y Jorge.

A mis amigos: Aldo, Anahi, Blanquita, Efraín, Eva, Gloria, Jonathan, Jorge, Pancho, Pedrin, Ricardo, Rodolfo y Sergio que con su amistad hicieron muy agradable mi estancia en Ensenada.

Quiero agradecer a mi querida familia, mi madre Haydee, mi viejo Enrique, mis hermanas Maribel, Ma. Eugenia, Ma. Fernanda, mi hermano Joseph, mis tesoros Scarlett, Yemima, Zoe y Odet, que han sido y siempre serán mi mejor apoyo e inspiración. Además quiero agradecer a la familia Ortega Álvarez por su constante apoyo.

Por último pero el agradecimiento más especial es para Ana María, sin tu ayuda, compañía, consejos, paciencia y amor no habría podido terminar este trabajo.

RESUMEN

Las hormigas se encuentran entre los organismos con mayor riqueza de especies del planeta, incluido los ecosistemas áridos y semiáridos. El presente trabajo presenta un listado de especies de hormigas del matorral costero del área periurbana a la ciudad de Ensenada, Baja California. En los nueve sitios que cubrieron el área de estudio se colocaron trampas de caída, trampas de cebos y se realizaron colectas selectivas de hormigas. Se colectaron 16,721 especímenes de 40 especies y 17 géneros de hormigas, de las cuales únicamente la hormiga argentina (*L. humile*) es no nativa. Las especies más comunes fueron *C. festinatus*, *C. semitestaceus*, *M. mimicus*, *C. californica*, *P. californica*, *P. vistana*, *S. xyloni* y *T. andrei*. El área muestreada representa menos del 1% de la península y 3% del Estado de Baja California, sin embargo se colectó el 22% y 26% del total de especies registradas para la península y Estado, respectivamente. De manera independiente, las variables sugeridas para explicar el comportamiento de la riqueza de especies, excepto el tipo de suelo, no fueron un factor que incida en la riqueza de especies de hormigas. Sin embargo, de manera combinada al interactuar el tipo de suelo con los factores de pendiente, altura y orientación puede influir la composición en la riqueza de especies. Por otra parte se sugiere la incorporación de variables climáticas y de comportamiento de las especies para entender mejor el funcionamiento de las comunidades de hormigas del matorral costero circundante a la ciudad de Ensenada.

ABSTRACT

Ants are among the agencies with the greatest wealth of species on the planet, including arid and semiarid ecosystems. This paper presents the list of species of ants of the periurban area of the city of Ensenada, Baja California. In the nine sites covering study area were placed pitfall traps, Bait traps and selective collections were made of ants. 16.721 specimens were collected from 40 species and 17 genera of ants, only *Linepithema humile* is not native. The most common species were *Camponotus festinatus*, *Camponotus semitestaceus*, *Myrmecocystus mimicus*, *Crematogaster californica*, *Pheidole californica*, *Pheidole Vistana*, *Solenopsis Xyloni* and *Temnothorax andrei*. The area sampled is less than 1 and 3% of the peninsula and state of BC, but was collected on 22 and 26% of total species recorded in the peninsula and state of BC respectively. Independently, the variables suggested to explain the behavior of species richness, excluding the type of soil, were not a factor that affects the species richness of ants. However, in combination to interact with soil type factors of slope, height and orientation can influence the composition in species richness. Moreover, the incorporation of climatic variables and species patterns to better understand the functioning of ant communities of coastal scrub surrounding the city of Ensenada.

PALABRAS CLAVE

Ensenada BC, Matorral costero periurbano, Comunidad de hormigas, Análisis de componentes ecológico-geográficos.

CONTENIDO

RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
CONTENIDO	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. El problema.....	1
1.2. El grupo de estudio	2
1.3. Implicaciones de las hormigas en el manejo de los ecosistemas	4
1.4. Modelos lineales	5
2. Área de estudio	6
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. OBJETIVOS.....	9
4.1. Objetivo general	9
4.2. Objetivos específicos	9
5. MÉTODOS.....	10
5.2. Comunidades de hormigas	10
5.4. Modelos lineales generalizados	12
5.5. Análisis de datos	12
6. RESULTADOS.....	13
6.1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES DE HORMIGAS ..	13
6.1.1. Descripción taxonómica	13
6.1.2. Abundancia.....	14

6.1.3.	Contextualización geográfica	14
6.1.4.	Descripción de los géneros	15
6.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS Y RELACIÓN CON LAS COMUNIDADES DE HORMIGAS	22
6.2.1.	Análisis de los sitios	22
6.2.2.	Análisis de las Variables ecológico-geográficas y biológicas	22
6.2.3.	Modelos lineales	22
7.	DISCUSIÓN	24
7.1.	DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES DE HORMIGAS ..	24
7.1.1.	Número total de especies	24
7.1.2.	Abundancia de especies	24
7.1.3.	Pocas especies exóticas.....	25
7.1.4.	Rangos de distribución geográfica de las especies presentes	25
7.1.5.	Procedimientos de muestreo.....	26
7.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS Y RELACIÓN CON LAS COMUNIDADES DE HORMIGAS	27
7.2.1.	Efectos de las variables ecológico-geográficas de los sitios de estudio sobre la riqueza de especies de hormigas	27
7.2.2.	Modelos lineales generalizados	28
8.	CONCLUSIONES	31
9.	BIBLIOGRAFIA.....	32
10.	ANEXOS	48
11.	FIGURAS	50

12. TABLAS	53
------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Área de estudio.....	50
Figura 2.	Ejemplo de las dos áreas establecidas en cada sitio de estudio.....	50
Figura 3.	Esquema del procedimiento seguido para obtener los porcentajes de cobertura.....	51
Figura 4.	Distribución de subfamilias y especies de hormigas en PBC y Ens.....	51
Figura 5.	Frecuencia de distribución de las 40 especies en los 9 sitios.....	52
Figura 6.	Análisis de similitud de los sitios (distancias Euclidianas).....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coordenadas de los sitios de muestreo.....	53
Tabla 2.	Caracterización de las variables para la riqueza de especies de los nueve sitios.....	53
Tabla 3.	Resultados del análisis de varianza de los datos de conteos de individuos x especie x sitio.....	53
Tabla 4.	Análisis de regresión logística entre la riqueza de especies y los factores de las variables expresados en categorías.....	54
Tabla 5.	Modelos lineales generalizados para el análisis de las variables que explican la riqueza de especies en los sitios.....	54

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El problema

El acelerado crecimiento de la población humana ha generado importantes efectos sobre los ecosistemas naturales (Vitousek *et al.* 1997; Ellis y Ramankuty 2008; Ellis *et al.* 2010). Una de las consecuencias es la expansión de las ciudades y la consiguiente necesidad de transformar áreas naturales en zonas para la agricultura, ganadería e industrialización (O'Leary, 1995). Estas acciones han determinado cambios drásticos en la composición de la vegetación y la biota que la conforma, generando modificaciones en los ecosistemas de muchos lugares del mundo incluyendo los ecosistemas áridos.

En México los ecosistemas áridos y semi-áridos ocupan cerca del 60% del territorio nacional y albergan unas 6000 especies de plantas (Montaño *et al.*, 2007). Un tipo particular de vegetación semiárida, la vegetación de carácter mediterráneo, en México se encuentra sólo en el extremo noroeste de Baja California.

El matorral costero es un tipo de vegetación de la región mediterránea rico en especies y endemismos y se encuentra distribuido en la parte norte de la península de Baja California desde la frontera internacional con Estados Unidos hasta Santo Tomás y San Vicente, y en las cuencas interiores del valle de Guadalupe y las estribaciones de la sierra San Pedro Mártir (Peinado *et al.* 1995; Minnich y Franco-Vizcaíno 1998). Este tipo de vegetación está sometido a constante presión por actividades humanas, tanto en California, donde ha disminuido alrededor del 85% (Westman, 1981), al igual que en Baja California, donde se ha registrado donde se han registrado disminuciones desde el 30% hasta el 90% en distintas localidades, desde Tijuana hasta El Rosario. (Espejel, *et al.*, 2002).

El disturbio asociado a las actividades humanas es un modificador profundo del ecosistema sustentado por el matorral costero, ya sea a través de cambios físico-químicos del suelo, aislamiento de poblaciones, perturbación de las interacciones bióticas, introducción de organismos exóticos, etc. (Begon, *et al.*, 2006; Ojeda-Revah *et al.* 2008; Garcillán *et al.* 2009).

Entre los efectos de la perturbación de las interacciones bióticas hay que destacar los efectos sobre la dispersión de semillas por aves, roedores y hormigas (Kalist, *et al.*, 1999; Mares y Rosenzweig, 1978), las interacciones insecto-planta, como la relación que mantienen algunas especies de hormigas de la subfamilia *Pseudomyrmecinae*, con árboles de acacias (Ward, 1993), como una estrategia para evitar la depredación, competencia, fuego, nutrición, aireación del suelo e intercambio de nutrientes, entre la superficie y el interior del suelo (Delabie *et al.*, 2003) y la pérdida de diversidad de especies nativas por desplazamiento de especies introducidas agresivas como la hormiga argentina, hormigas de fuego, entre otras (Williams, 1994).

1.2. El grupo de estudio

Las hormigas pertenecen a la familia Formicidae, orden Hymenoptera, son de los grupos de insectos más comunes y abundantes del planeta, y se encuentran entre los organismos que más se ha estudiado su biología y sistemática (Hölldobler y Wilson, 1990). Existen en el planeta 16 subfamilias con un total de 296 géneros, de las cuales hasta agosto de 2010 se habían identificado 12606 especies en todo el mundo (Antbase, 2010).

Los primeros fósiles de hormigas encontrados se remontan al período Cretácico hace unos 120 millones de años (MA), sin embargo la estructura moderna de las colonias empezó a formarse hace unos 45 MA (Fernández, 2003). Su estructura eusocial se basa en una colonia con una reina dominante que es la única hembra reproductiva, y produce varias castas como obreras con diferentes funciones en la colonia y machos que aparecen ocasionalmente, principalmente cuando la reina está lista para reproducirse (Fernández, 2003).

El éxito de las hormigas se basa en la eficiencia para dividir el trabajo de sus obreras, estrategia de cooperación que evolucionó durante millones de años llegando a ser extremadamente eficientes. Otra de las razones de su éxito es su capacidad para modificar su entorno en función de sus necesidades. Muchas especies han desarrollado prácticas que se asemejan a la agricultura, como las hormigas cortadoras (*Atta* sp.) y hormigas tejedoras (*Oecophylla*) (Fernández, 2003), e incluso prácticas similares a la ganadería, como la relación que han desarrollado con varias especies de insectos del orden Homoptera (Flatt y Weisser, 2000, Stadler y Dixon, 2005).

Debido a que generalmente sus colonias son muy numerosas, son propensas al ataque de agentes patógenos, por lo cual han desarrollado un método de defensa secretando antibióticos provenientes de su glándula metapleurale (Poulsen, *et al.*, 2002). Las hormigas están entre los insectos sociales más notables, y pese a su tamaño han llegado a ocupar exitosamente muchos ecosistemas, desde latitudes boreales al norte de la línea de árboles, en Canadá, hasta el sur en Tierra del Fuego, Chile, (Lattke, 2003). En varios bosques tropicales la contribución de biomasa por parte de las hormigas es superior a la de otros organismos más visibles; por ejemplo se estima que la biomasa que aportan las hormigas en la selva húmeda de Brasil es cuatro veces mayor a la de todos los vertebrados juntos (Fernández, 2003).

Las hormigas, al igual que otros artrópodos e insectos, a pesar de su elevado número de especies, biomasa e importancia ecológica permanecen desconocidos (Samways, 2005). La importancia ecológica de las hormigas ha sido ampliamente reconocida pues cumplen un importante rol como depredadores (Philpott y Ambrecht, 2006), dispersoras de semillas (Davidson, 1977a, 1977b; Handel y Beattie, 1990; Brown y Human, 1997; Kalisz *et al.*, 1999; Ibáñez y Soriano, 2004; Lenoir, 2009), polinizadoras (Delabie *et al.*, 2003), transportadoras de nutrientes del suelo (Petal, 1992; Folgarait, 1998), interacciones mutualistas por ejemplo entre plantas del género *Acacia* y hormigas del género *Pseudomyrmex* (Ward, 1993) o con homópteros, a los que protegen y transportan de una planta a otra a cambio de miel (Schulz y McGlynn, 2000; Delabie, 1988; Delabie, 2001; Delabie y Fernández, 2003).

La influencia de las hormigas en la dinámica de los ecosistemas se ha estudiado principalmente en ambientes tropicales. En regiones áridas, semiáridas y mediterráneas los estudios son menos numerosos y se han enfocado en los procesos de regeneración de la vegetación (Aronson, *et al.*, 1993) y la dispersión y depredación de semillas (Hensen, 2002). En estas regiones las hormigas participan principalmente en la regeneración de la vegetación a través del intercambio de nutrientes entre la superficie y el interior del suelo, facilitando el establecimiento de nuevas plantas (Briese, 1982; Aronson *et al.*, 1993; Boulton, *et al.*, 2003; Wagner, *et al.*, 2004; Johnson, 2004). Se estima que en África y Australia alrededor de 3,000 especies de plantas se benefician de este servicio que brindan las hormigas (Keller y Gordon, 2009). En las zonas mediterráneas, sometidas a regímenes de fuegos naturales, las hormigas desempeñan un

importante rol en la dispersión semillas después del fuego (Keeley, 1986; Lloret, 2004; Montenegro, *et al.*, 2004). En California se ha observado que una especie de hormiga cortadora, *Messor andreii*, dispersa 25 especies de plantas (Brown y Humman, 1997).

Los estudios sobre hormigas de la península de Baja California son escasos. Se han llevado a cabo estudios sobre sistemática y taxonomía de varias especies (Snelling, 1973, 1981; MacKay *et al.* 1985; Ward 2000; Burge 2005), sobre ecología y comportamiento (Blom y Clark 1980; Clark *et al.*, 1986; Clark y Blom 1988; Coria-Benet *et al.*, 1993; Lighton y Berrigan 1995; Clark 1996), métodos de trapeo (Clark y Blom 1992), y la biología reproductiva de dos especies del género *Messor* (Johnson 2000). Johnson y Ward (2002) presentaron la primera lista exhaustiva de especies de hormigas (176 especies) para la península con base en la revisión de registros históricos, museos y bibliografía. En dicho trabajo sugieren que la lista compuesta por estas 176 especies están lejos de ser la lista completa.

1.3. Implicaciones de las hormigas en el manejo de los ecosistemas

Al estar considerados los inventarios ecológicos en los artículos VI y VII del acuerdo presidencial de la creación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, resulta necesario la generación de información que ayude en la toma de decisiones acerca del manejo, aprovechamiento y conservación de la diversidad de todos los organismos. En este sentido, en la península de Baja California, hace falta realizar estudios en los cuales se considere utilizar a las hormigas como indicadoras de pérdida de diversidad y cambios ambientales. La pérdida de diversidad (en el caso de las hormigas), tienen incidencia directa en la protección de los recursos naturales, ya que el uso irracional de los mismos ha puesto en riesgo a los ecosistemas (CONABIO, 2010). Esa consideración se apoya en información existente, donde se ha utilizado a las hormigas en inventarios de biodiversidad para medir la salud de los ecosistemas, estos estudios se han centrado principalmente en inventarios cortos y acelerados, para medir la riqueza de especies (Aosti, *et al.*, 2000). En éstos estudios se identificaron los géneros o gremios con los cuales pueden ser más fácil predecir su presencia. Andersen (1997), indica que hay muchos géneros de hormigas cuya riqueza de especies se relaciona fuertemente con la riqueza total de hormigas, sin embargo, un género puede ser un buen indicador a nivel local, pero no a nivel regional, es decir, el nivel de predicción de muchos géneros disminuye dependiendo de la escala en que se quiera evaluar. Por ello es

importante realizar estudios en áreas con prioridad de conservación como es el caso del matorral costero, el cual, como se menciona anteriormente esta perdiendo su cobertura por el crecimiento de la población.

1.4. Modelos lineales

Los patrones de riqueza de especies de hormigas han sido explicados por su distribución latitudinal (Jeanne, 1979), en islas (Goldstein, 1975), a nivel de paisaje (Bestelmeyer y Wiens, 2001; Dauber y Wolters, 2004; Lozano-Zambrano, *et al.*, 2009) y a nivel de parches de vegetación (Armbrecht, 1999; Perfecto y Vandermeer, 2002; Dauber, *et al.*, 2003). Sin embargo, aun muchos patrones de la distribución de la riqueza de especies de hormigas están aun sin resolver (Kaspari, 2003). En este contexto, varios trabajos se han centrado en la explicación de estos patrones asociando la riqueza de especies de hormigas con factores ambientales como la temperatura y la precipitación (Rico-Gray, *et al.*, 1998; Arcila y Lozano-Zambrano, 2003) y características del hábitat (Wang *et al.*, 2001; Sanders, 2002).

En este estudio, se ha considerado la utilización de componentes ecológico-geográficos (orientación, pendiente, elevación, cobertura y tipo de suelo) (Morrison, *et al.*, 2006), como variables de hábitat que pueden explicar la distribución de la riqueza de especies en el área de estudio. La consideración de estas variables se fundamentó inicialmente en la disponibilidad de recursos informativos del área de estudio, ya que no se contaba con datos de mediciones climáticas y variables estructurales de la vegetación en los sitios de muestreo y por otra parte considerando que las limitaciones ambientales y fisiológicas afectan de manera directa la disponibilidad de los recursos (Austin, *et al.*, 1984, Austin y Gaywood, 1994). La clasificación y asociación de este grupo de variables derivaron en la selección de un modelo, conocido como modelo de procesos (Korzukhin, *et al.*, 1996), cuyas predicciones pueden basarse en una relación de causa-efecto (Guisan, *et al.*, 2000). Además, este tipo de modelo, relaciona la teoría de la respuesta esperada y no considera las predicciones de precisión (Pickett, *et al.*, 1994). El modelo establecido se origina en la disponibilidad y limitaciones de información geográfica más apropiados (Cooperrider, 1986).

Los resultados de este análisis ayudarán a comprender que componentes ecológico-geográficos explican la distribución de la riqueza de especies de hormigas del matorral

costero circundante a Ensenada. Por ello, se considera que el conocimiento de la composición de la riqueza de hormigas en función de las características físicas de su entorno (componentes ecológico-geográficos), ayudaría a proponer “estrategias de manejo y uso de áreas para el aprovechamiento urbano, que no afecten a las comunidades de hormigas y los servicios ambientales que prestan a los ecosistemas.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La península de Baja California es una réplica de la transición entre biomas templado y tropical que ocurre en México. Presenta vegetación templada de tipo mediterráneo en el noroeste peninsular y tropical en la Región del Cabo, en el extremo sur, con una larga transición desértica entre ambas. La región de tipo mediterráneo de California y noroeste de Baja California está reconocida como uno de los *hot spots* de diversidad biológica a nivel mundial (Myers, *et al.* 2000), y dentro de ella el matorral costero, un tipo de vegetación rico en especies y endemismos, está intensamente amenazado por la expansión urbana en ambos lados de la frontera (O’Leary 1995; Espejel *et al.*, 2002; Ojeda-Revah *et al.*, 2008).

El Estado de Baja California es un ejemplo del fenómeno de expansión urbana. En las últimas tres décadas (1970-2005) la población se triplicó, alcanzando en 2005 casi 3 millones de habitantes (2,844,469 hab.), de los que el 93% es población urbana (> 2,500 hab.) (INEGI, 2006). La mayor parte de esta población (64%) se concentra en el corredor urbano intermitente que se extiende por 100 km desde Tijuana, en la frontera con Estados Unidos, hasta Ensenada. Existen algunos estudios de los efectos de este intenso proceso de urbanización sobre la vegetación en el noroeste de Baja California (Minnich y Franco-Vizcaíno 1999; Espejel *et al.* 2002; Ojeda-Revah *et al.* 2008). Sin embargo, no existe información sobre sus efectos en la fauna, y en concreto se carece de estudios sobre las hormigas presentes en estos ambientes, los posibles efectos de la urbanización y las consecuencias ecológicas de estas perturbaciones. La ciudad de Ensenada (31° 52’ N; 116° 37’ W), ubicada en el extremo sur de este corredor urbano costero, triplicó su población en las últimas tres décadas (334% y alcanzó 260,075 hab. en 2005; INEGI 2006; Piñera-Ramírez 2006). Rodeada por matorral costero, constituye un escenario ideal

para estudiar la fauna de hormigas en este tipo de vegetación que esta siendo sometida a perturbación por urbanización.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la comunidad de hormigas presentes en matorral costero del área periurbana de la ciudad de Ensenada, como una primera etapa base para el análisis de la relación de las comunidades de hormigas con los componentes ecológicos geográficos del matorral costero circundante a la ciudad de Ensenada.

3. JUSTIFICACIÓN

Los insectos constituyen la mayor parte de la biodiversidad terrestre en el planeta (Borror *et al.*, 1974; Arnett, 2000), además cumplen un importante rol en el funcionamiento de los ecosistemas, ya sea descomponiendo materia orgánica, como depredadores, parasitoides, herbívoros, polinizadores, como fuente de alimento, entre otros. Estas características los hacen sensibles y reactivos (Rosemberg, *et al.*, 1986), por lo cual se los considera buenos indicadores de cambios en los ecosistemas (Brown, 1991). En el caso particular de las hormigas, éstas desempeñan un papel importante tanto en selvas húmedas como ecosistemas áridos, como depredadoras, herbívoras o detritívoras, participando en los procesos físico-químicos del suelo incluyendo la descomposición y el reciclaje de nutrientes (Lobry de Bruyn y Conacher, 1990). En este sentido, las hormigas resultan ser buenos sensores de los cambios en el ambiente, ya que entre sus cualidades resalta su alta diversidad y abundancia, respuesta rápida a cambios ambientales, facilidad de muestreo y resolución taxonómica relativamente buena (Alonso y Agosti, 2000; Perfecto y Vandermeer, 2002). Además, han sido identificadas como buenas indicadores ambientales de hábitats alterados, particularmente en zonas propensas a incendios (Majer, 1983, Andersen, 1991).

A pesar de la importancia de las hormigas en el mantenimiento de los ecosistemas, los estudios para entender mejor estos procesos son escasos. Por ejemplo, México registra una alta diversidad de especies de hormigas (407) (Rojas Fernández, 2001), esto considerando que para la región Neártica (Norte América y norte de México) existían 580 especies de hormigas (Hölldobler y Wilson, 1990). Sin embargo, este grupo se menciona escasamente en la literatura e investigaciones sobre la conservación y manejo de

ecosistemas. En párrafos anteriores, se destaca esta falta de atención de estudios que mencionan a las hormigas (14 publicaciones) en la Península de Baja California, a pesar de existir estudios que muestran su importancia y los servicios que prestan a los ecosistemas, por lo cual es importante generar información que promueva el conocimiento de la relación de las hormigas, ya sea a nivel de especies, gremios o comunidades y los ambientes que habitan.

En ese sentido, es importante conocer y describir la fauna de hormigas para predecir y resolver problemas prácticos e incidir en la toma de decisiones rápidas, con respecto a los recursos disponibles y los potenciales efectos sobre la pérdida de diversidad. Por otra parte, los patrones de riqueza de especies de hormigas se han considerado buenos sensores de cambios ecológicos al relacionarlos con las características de su hábitat (King, *et al.*, 1998). La generación de estos conocimientos ayudaría a entender los procesos de cambio ambiental provocados por el desarrollo humano. Además, se ha considerado indispensable la utilización de la información ecológica, ya que esta información se utiliza cada vez más en aspectos de las políticas de la gestión ambiental, biología de la conservación, restauraciones ecológicas, manejo de cuencas y cambio climático mundial (Pickett, *et al.*, 1994, CONABIO, 2010). La realización de este tipo de trabajos en esta región, sienta las bases para que en estudios futuros de planeación urbana, aprovechamiento y uso de hábitat, se considere utilizar a los insectos y en particular a las hormigas en la toma de decisiones para el manejo. Además, estos estudios resultan económicamente viables por su rapidez, facilidad en la consecución de especímenes y materiales fáciles de adquirir o elaborar (Andersen, *et al.*, 2002).

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Caracterizar a la comunidad de hormigas presentes en el matorral costero del área periurbana de Ensenada y analizar su relación con los componentes ecológicos geográficos de éste ecosistema.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar a las especies presentes en el matorral costero del área periurbana de Ensenada.
- Analizar la relación de la riqueza de especies de hormigas con los componentes ecológico-geográficos del matorral costero del área periurbana de Ensenada Baja California.

5. MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El área de estudio es la zona circundante a la ciudad de Ensenada ocupada por matorral costero, que se caracteriza por una mezcla de sub-arbustos aromáticos caducifolios, arbustos perennifolios y especies suculentas (Delgadillo, 1998; Minnich y Franco-Vizcaíno, 1999). El clima es tipo mediterráneo, de inviernos lluviosos y veranos secos y calurosos, con precipitación anual promedio de 292 mm, y temperatura promedio mensual entre 12.4 y 25.2°C (CNA, 2008).

Los sitios de muestreo, fueron seleccionados después de realizar recorridos alrededor del área con vegetación de matorral costero circundante a la ciudad de Ensenada (Tabla 1), con el fin de establecer si existen diferencias en la composición de la comunidad de hormigas, considerando la riqueza de especies y el número de individuos por especie por sitio.

5.2. Comunidades de hormigas

Se utilizaron tres tipos de muestreo: trampas de caída (pitfall), trampas con cebo y colectas manuales. El muestreo se realizó en nueve sitios dentro del matorral costero, tratando de abarcar todo el arco de la periferia urbana (Figura 1). En cada sitio se trazaron tres transectos lineales de 200 m de longitud, separados entre sí por una distancia de 60 metros. En cada transecto se coloraron cinco trampas de caída separadas entre sí por una distancia de 40 m. Los transectos se dispusieron en la parte central del fragmento de matorral costero. En total establecimos 135 trampas pitfall (9 sitios $\times$ 3 transectos/sitio $\times$ 5 trampas/transecto). Estas trampas consistieron en vasos plásticos de 12 cm de diámetro a nivel del suelo, con una solución de agua con detergente, para romper la tensión superficial, llenos hasta el 75% del volumen total del vaso. Las trampas permanecieron instaladas por un período de siete días, antes de ser retiradas. El contenido de las trampas fue filtrado y posteriormente se colocó en bolsas plásticas (whirl-pack o ziploc) con etanol al 75%.

Además, se establecieron cuatro transectos lineales de 100 metros en cada sitio de muestreo. Los transectos se dispusieron con una separación de 10 m entre sí, y con 10 trampas con cebos por transecto separadas entre sí por 10 m. En cada transecto se

colocaron combinados cuatro diferentes tipos de cebos (atún, mantequilla de cacahuete, migas de galleta dulce y salchicha). En total se establecieron 360 trampas de cebo (9 sitios $\times$ 4 transectos/sitio $\times$ 10 trampas/transecto), que permanecieron instaladas por un periodo de una hora.

Adicional a los métodos estandarizados, se sumaron colectas manuales con el propósito de registrar hormigas que no hubieran sido capturadas por dichos métodos por sus peculiares hábitos alimenticios y de forrajeo. En un área de aproximadamente 25 m², dos personas revisaron el suelo, debajo de las rocas, troncos en descomposición, flores y frutos en cada sitio de muestreo, por un lapso de una hora y se colectaron los individuos encontrados mediante un aspirador bucal. En total se invirtieron 18 horas/hombre (9 sitios $\times$ 2 personas $\times$ 1 hora). El material colectado se encuentra depositado en el Museo de Artrópodos del Centro de Investigaciones Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), Ensenada, Baja California.

Finalmente, las muestras procesadas fueron identificadas hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Las identificaciones preliminares se realizaron con ayuda de claves taxonómicas (Wheeler y Wheeler, 1986; Bolton, 1994; Fernández, 2003). La confirmación de las especies se realizó en el laboratorio de Entomología de la Universidad de Davis CA., con la ayuda del especialista Philip S. Ward.

5.3. Análisis espacial de las variables ecológico-geográficas

En cada uno de los nueve sitios de estudio se establecieron dos áreas concéntricas y centradas en la zona donde se estableció el muestreo de hormigas: un círculo de 120 m de radio (4.5 ha) considerado el área núcleo y un buffer circundante al mismo de 80 m de ancho (8 ha), el cual se consideró para establecer si las variables del núcleo y el área exterior pueden afectar de manera diferente a la riqueza de especies de hormigas (Figura 2). Las proporciones de la variable cobertura, fue calculada con base en imágenes de Google Earth a escala 1:4000, el área núcleo a 1:1500 y Buffer circundante a 1:2500. Las variables de pendiente, orientación y altitud se calcularon partiendo del modelo digital de elevación de Ensenada, generado a través del programa Idrisi y ArcView 3.2 utilizando información del INEGI, (cartas H11B11-12, H11B21-22) (Figura 3). Adicionalmente, las tres clases de textura del suelo (arenoso, compacto, rocoso), se elaboró un Sistema de Información Geográfica para permitir el análisis de la misma (Tabla 2).

Las variables de pendiente, orientación y altitud, se calcularon partiendo del modelo digital de elevación de Ensenada B.C., generado a través del programa Idrisi y ArcView 3.2 utilizando información de INEGI (2010), (cartas H11B11-12, H11B21-22). Adicionalmente, las tres clases de textura del suelo se adjudicaron mediante una apreciación visual del perfil del suelo de cada sitio.

La inclusión de variables ecológicas-geográficas en el análisis, buscó establecer una relación entre estas y la riqueza de especies de hormigas presente en el área núcleo y en el área aledaña a esta (área buffer).

5.4. Modelos lineales generalizados

Para predecir la respuesta de la comunidad a la modificación de una de las variables explicativas, y comparar la importancia de las diferentes clases de variables, utilizamos modelos lineales generalizados GLIM 3.77 (DOS). Utilizamos análisis de varianza de una vía (ANOVA) para evaluar los cambios en la riqueza de especies de la comunidad de hormigas. Para determinar si existe una correlación entre las variables explicativas y la variable dependiente, se realizaron análisis de regresiones logísticas ordinales. Estas comparaciones, nos permitieron evaluar cómo responde la comunidad de hormigas a las diferentes variables físicas registradas en el matorral costero circundante a la ciudad de Ensenada, y qué características del ambiente podrían afectar a las comunidades de hormigas en un área determinada.

5.5. Análisis de datos

Comunidades de hormigas. Para el análisis de las comunidades, se utilizó estadística general con el propósito de agrupar a las especies por métodos de muestreo y grupos funcionales.

Análisis de los sitios. Se utilizó un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA), para evaluar si existieron diferencias significativas entre los nueve sitios y las especies de cada sitio, el análisis consideró un error tipo Poisson asociado a una función logarítmica. Se realizaron análisis de equidad ($J = H/\log(S)$, donde H es el valor observado en el índice de Shannon Wiener y S = número total de especies en el hábitat) y similitud; distancia Euclidiana $\sqrt{\sum_{i=1}^{S-1} (s_{i1} - s_{i2})^2}$, donde N = número total de especies, S_{i1} y S_{i2} =

abundancia de especies en la muestra 1 y 2 respectivamente) se calcularon con el paquete estadístico PISCES Conservation Ltd 2002.

Variables ecológico-geográficas. Se realizó un análisis de correlación (Pearson), para determinar si existe una relación entre la distancia a sitios con suelo desnudo y la distribución de los individuos por especie. Además se realizó un análisis de similitud considerando la medida de distancias Euclidianas para agrupar los sitios por sus características biológicas y relacionarlos con las variables seleccionadas.

Modelos lineales generalizados. Para analizar los resultados de las variables biológicas (riqueza de especies) y las variables ecológico-ambientales, se realizaron ANOVAS balanceados, considerando el error tipo Poisson con su función logarítmica asociada. Se consideraron las relaciones con una $P \leq 0.05$.

6. RESULTADOS

6.1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES DE HORMIGAS

6.1.1. Descripción taxonómica

Se registraron 40 especies pertenecientes a 17 géneros de cinco subfamilias (Anexo 1). Dos géneros y una especie, *Brachymyrmex* sp.1 nd, *Solenopsis truncorum* y *Temnothorax* sp.1 nd, son nuevos registros para la península de Baja California. La distribución taxonómica de las especies entre subfamilias es similar a la encontrada por Johnson y Ward (2002) para el conjunto de la península (Figura 4). Las subfamilias con mayor número de especies fueron Myrmicinae (18 especies) y Formicinae (14 especies), Dolichoderinae presentó un valor moderado de especies (6), dos subfamilias, Ecitoninae y Pseudomyrmecinae, sólo estuvieron representadas por una especie. Finalmente, de las subfamilias Ponerinae y Cerapachyinae, presentes en la lista de Johnson y Ward (2002), no se encontró ninguna especie. La mayoría de las especies encontradas son de hábitos alimenticios generalistas (68%), aunque se encontraron también especies nectarívoras (24%), cosechadoras (5%), granívoras (5%) y depredadoras (3%).

6.1.2. Abundancia

En las trampas de caída (pitfall) se registraron 8,813 individuos correspondientes a 39 de las 40 especies totales. En cambio, en las trampas de cebos con un número semejante de individuos (7,767) sólo se registraron 15 especies (37% del total). Finalmente, las colectas manuales reportaron tan sólo 158 individuos pertenecientes a nueve especies (22% del total). En los métodos de muestreo utilizados, únicamente *Forelius pruinosus* fue colectada en las trampas con cebo.

Especies abundantes. Cuatro especies (*Crematogaster californica*, *Pheidole vistana*, *Solenopsis xyloni* y *Temnothorax andrei*) se encontraron en los nueve sitios. En el muestreo con pitfall, las cuatro especies estuvieron presentes en los nueve sitios, pero las dos primeras especies fueron las más abundantes tanto en número de trampas (en 115 y 109 respectivamente, de las 135 trampas colocadas), como de individuos (1,341 y 2,368 respectivamente; 42% del total). En las trampas con cebo *C. californica* y *P. vistana* son también las más frecuentes en número de sitios (nueve y cuatro respectivamente) y trampas (24 y 17 respectivamente, de las 360 trampas colocadas), sin embargo *Dorymyrmex bicolor* y *Forelius mccooki* son las más abundantes en número de individuos (1,979 y 4,037, respectivamente; 77% del total), a pesar de que sólo están presentes en un sitio cada una (Figura 5).

Especies Raras. La mayoría de las especies (65% del total) se encontraron solo en tres ó menos sitios de los nueve totales. Se registró nueve especies presentes en un sólo sitio, de ocho de las cuales se colectaron únicamente tres individuos o menos (*Myrmecocystus wheeleri*, *Camponotus* BCA-3, *Linepithema humile*; *Messor stoddardi*, *Pseudomyrmex apache*, *Brachymyrmex* sp.1 nd, *Temnothorax* sp.1 nd y *Pogonomyrmex californicus*).

6.1.3. Contextualización geográfica

Se registró sólo una especie no nativa, la hormiga argentina (*Linepithema humile*), que fue encontrada sólo en uno de los nueve sitios muestreados. Esta especie está considerada como altamente invasora y ha sido reportada como plaga en varias regiones del mundo (Barrows, *et al.*, 2006; Holway y Suárez, 2006; Keller y Gordon, 2009). No se encontró ninguna de las 45 especies que Johnson y Ward (2002) consideran endémicas a la península de Baja California. Si se exceptúa a *Brachymyrmex* sp.1 nd y *Temnothorax* sp.1 nd, aún por confirmar su identificación y por tanto su área de distribución, la totalidad de

las 37 especies restantes encontradas están también presentes en el estado de California (Johnson y Ward 2002). De estas 37 especies, aproximadamente un tercio de ellas (12 especies) están restringidas a la Provincia Florística de California, siete especies más, presentes también en otro Estado, tienen una distribución regional que podría ser considerada intermedia (dos especies presentes en Sonora y cinco en Arizona). *Solenopsis truncorum*, que es un registro nuevo para la península, se ha reportado únicamente en Florida (Thompson y Johnson, 1989) y California (Ward, 2005). Las 17 especies restantes corresponderían a especies de amplia distribución geográfica: dos presentes en Baja California Sur y Arizona, y 15 especies encontradas en Baja California Sur, Arizona y Sonora (cinco de ellas también reportadas en Chihuahua y/o en Tehuacán) (Anexo 1).

6.1.4. Descripción de los géneros

En la descripción de géneros que se presenta a continuación, junto al nombre de la subfamilia se indica el número de géneros encontrados en la península de Baja California por Johnson y Ward (2002) (BC) y los encontrados en el presente estudio en el matorral costero circundante a la ciudad de Ensenada (MC). Siguiendo el mismo criterio se señalan el número de especies junto al género correspondiente.

Subfamilia Dolicoderinae (BC: 12; MC: 6)

Los géneros de esta subfamilia se pueden reconocer por el tergo del quinto segmento del gáster, el cual es pequeño y usualmente no visible (Palacio y Fernández, 2003).

Género *Dorymyrmex* Mayr (BC: 4; MC: 2)

Las especies de este género se diferencian principalmente por presentar una espina o tubérculo propodeal. *D. insanus* (Buckley) se caracteriza por tener una coloración oscura uniforme. Mientras que el tórax de *D. bicolor* (Wheeler) es de un color amarillo-marrón y el abdomen tiene una coloración oscura (Snelling, 1995; Wheeler y Wheeler, 1986; Ward, 2005). Estas especies tienen hábitos alimenticios generalistas, fabrican sus nidos en suelos desde arenosos-arcillosos muy suaves hasta compactos y rocosos. Las dos especies mencionadas anteriormente, se registraron en sitios apartados del centro urbano.

Género *Forelius* Emery (BC: 4; MC: 2)

La taxonomía del género *Forellilus* es muy compleja. Sin embargo, en la mayoría de sus especies la forma más fácil de identificación es el espiráculo propodeal, que es dos veces más largo que ancho (Cuezzo, 2000). Las dos especies *F. mccoocki* (McCook) y *F. pruinosis* (Roger) encontradas en este estudio, elaboran sus nidos bajo rocas, principalmente en suelos áridos con poca vegetación circundante y muy expuestos a temperaturas altas. Su resistencia a las temperaturas elevadas les permite permanecer activas durante el día (Wheeler y Wheeler, 1986; Cuezzo, 2003; Ward, 2005; Clark y Blom, 2007). Ambas especies se encontraron en lugares con señales de disturbio como agricultura, basurero y urbanización.

Género *Linepithema* Mayr (BC: 1: MC: 1)

La hormiga argentina, *L. humile* (Mayr), es una especie introducida que se adapta fácilmente a nuevos ecosistemas. Es considerada una plaga en EEUU, Europa, Sudáfrica, parte de Australia y Hawaii (Cuezzo, 2003). Esta agresiva especie puede desplazar a otras hormigas y extender su rango de distribución rápidamente, ya que sus colonias son poligínicas (Ward, 1987; Carney *et al.*, 2003). Las obreras se pueden diferenciar por una amplia, pero poco profunda concavidad en el clípeo, y el mesosoma nunca presenta tubérculos o espinas (Mayr, 1868; Cuezzo, 2003; Ward, 2005). Puede anidar en el suelo, bajo rocas, troncos caídos, paredes de las casas incluso artículos domésticos. Son de hábitos alimenticios generalistas y en las ciudades puede encontrárselas forrajeando cerca de los basureros. Se distribuye principalmente en ambientes urbanos (Tsutsui *et al.*, 2001), sin embargo el sitio donde fue colectada fue uno de los más alejados del área urbana.

Género *Tapinoma* Foerster (BC: 1: MC: 1)

Tienen una coloración uniformemente oscura, las obreras miden 2-3 mm y las hembras 4 mm (Creighton, 1950). Las obreras de *T. sessile* (Say), se pueden identificar por la parte central del margen anterior del clípeo, que se encuentra claramente extraído. Se alimenta principalmente de la miel que producen los homópteros y pueden forrajear largas distancias para obtener su alimento (Buczkowski y Bennett, 2006). Anida bajo las raíces de las plantas (principalmente vegetación introducida), cerca de basureros y edificaciones. Esta especie se encontró en casi todos los sitios de muestreo.

Subfamilia Ecitoninae (BC: 8; MC: 1)

Los géneros de esta subfamilia se caracterizan por poseer un aguijón, pospeciolo bien desarrollado y ojos muy pequeños o ausentes.

Género *Neivamyrmex* Borgmeier (BC: 1; MC: 1)

La única especie encontrada, *N. nigrescens* (Cesson), se puede identificar por su propodeo, que visto dorsalmente presenta una clara depresión por debajo del mesonoto y posteriormente es redondeado. Los machos pueden identificarse por la forma distintiva de sus parámetros (Watkins, 1982; Quiroz y Valenzuela, 2006; Snelling y Snelling, 2007). Fabrica sus nidos en el suelo, es depredadora y su dieta incluye otras especies de hormigas. Es común encontrarla en casi toda el área periurbana de Ensenada.

Subfamilia Formicinae (BC: 62; MC: 14)

Los géneros de esta subfamilia se caracterizan por la ausencia de un aguijón y en el extremo del gáster presentan un orificio circular bordeado por quetas.

Género *Brachymyrmex* Mayr (BC: 1; MC: 1)

Las hormigas del género *Brachymyrmex* se distribuyen principalmente en la región neotropical y se las encuentra frecuentemente entre la hojarasca. Se diferencian de otros géneros por sus antenas compuestas por nueve segmentos sin maza antenal y la casta de las obreras son siempre de tamaño pequeño (menos de 2 mm) (Fernández, 2003). En la península de Baja California se ha reportado únicamente *B. depilis*, sin embargo en nuestro estudio se registro una nueva especie que aún no ha sido identificada (*Brachymyrmex* sp1 nd), la cual podría ser un registro nuevo para la península y la Provincia Florística de California.

Género *Camponotus* Mayr (BC: 21; MC: 8)

El género *Camponotus* se pueden diferenciar de otros por el margen posterior del clípeo, que se encuentra alejado de los alveolos antenales por una distancia igual o mayor al diámetro del mismo, además no tiene abertura en la glándula metapleural (Fernández, 2003; Ward, 2005). Las obreras y machos son difíciles de identificar debido al dimorfismo sexual de sus colonias, por lo que se recomienda consultar las claves de identificación en Wheeler y Wheeler, (1986) y Mackay y Mackay (2002). Este grupo de hormigas conocidas

como carpinteras, son de hábitos alimenticios generalistas, anidan principalmente en madera muerta, debajo del suelo y rocas. Fue común encontrarlas en casi toda el área periurbana de Ensenada.

Género *Formica* Linnaeus (BC: 9; MC: 2)

El género *Formica* se identifica por la forma triangular de su mandíbula, que tiene siete o más dientes (Wheeler y Wheeler, 1986; Mackay y Mackay; 2002; Fernández, 2003). Las especies de este género son generalistas pudiendo consumir un amplio rango de alimentos (Ward, 2005). Anidan en el suelo, bajo rocas aisladas y cerca de las raíces de las plantas. Las dos especies encontradas de este género, *F. francoeuri* (Bolton) y *F. moki* (Wheeler), fueron observadas comúnmente cerca de vegetación con poco disturbio y alejadas del área urbana.

Género *Myrmecocystus* Wesmael (BC: 17; MC: 3)

Las obreras se identifican por sus palpos maxilares muy alargados (Wheeler y Wheeler, 1986; Fernández, 2003). Anidan bajo rocas de suelos compactos donde pueden cavar sus galerías, las cuales albergan a una casta especial de obreras llamadas *repletas*, este grupo de obreras contiene la miel en sus abdómenes para luego alimentar al resto de la colonia. *M. mimicus* (Wheeler) se observó en casi todos los sitios muestreados y *M. testaceus* (Emery) se encontró en tres sitios normalmente asociada a vegetación con poco disturbio y *M. wheeleri* (Snelling) se encontró únicamente en un sitio.

Subfamilia Myrmicinae (BC: 87; MC: 18)

Los géneros de esta subfamilia se caracterizan por tener generalmente los lóbulos frontales bien desarrollados y las inserciones antenales cubiertas por los lóbulos frontales.

Género *Crematogaster* Lund (BC: 8; MC: 1)

La única especie encontrada, *C. californica* (Wheeler), se identifica porque su pospeciolo se encuentra inserto en la superficie dorsal del tergo abdominal (Mackay y Mackay, 2002; Fernández, 2003), tiene una coloración marrón oscura y pelos suberectos en el escapo de la antena y la cabeza (Buren, 1968). Elabora sus nidos en las raíces de árboles y arbustos, en madera muerta y suelo, se alimentando de néctar de las flores y miel de

homópteros los cuales cuidan y transportan de una planta a otra. Estuvo presente en todos los sitios muestreados, aunque no se la encontró en áreas urbanas.

Género *Messor* Forel (BC: 4; MC: 2)

Encontramos dos especies de este género, *M. andrei* y *M. stoddardi*. Las obreras de *M. andrei* (Mayr), varían de tamaño de medianas a grandes, son de color rojizo oscuro a negro, excepto el primer segmento del gáster que es marrón, en tanto que *M. stoddardi* (Emery), posee prominentes rugosidades, la cabeza y el tórax son de color rojizo oscuro poco brillante o mate, el gáster es negro y brillante (Wheeler y Wheeler, 1986). Son especies cosechadoras y recolectoras de granos, construyen nidos muy grandes sobre suelo arenoso suave, estos nidos se pueden reconocer por la forma cónica, formado por la acumulación de suelo y desecho de las cosechas (Ward, 2005). Las dos especies fueron registradas en sitios alejados del área urbana, con poco disturbio aparente.

Género *Monomorium* Mayr (BC: 3; MC: 1)

La especies de éste género se encuentran ampliamente distribuidas, algunas son reconocidas plagas como *M. pharaonis* y *M. salomonis* (Fernández, 2003). La única especie encontrada de este género, *M. ergatogyna*, es de color oscuro lustroso brillante y mide aproximadamente 1.5 mm (Wheeler y Wheeler 1986). Anida bajo el suelo cerca a las raíces de las plantas y se alimenta principalmente de miel de las flores, donde es frecuente encontrarlas libando durante el día. Se la encontró principalmente en sitios apartados del área urbana, con poco disturbio.

Género *Pheidole* Westwood (BC: 22; MC: 5)

Las obreras del género *Pheidole* son dimórficas y para identificar las especies es necesario coleccionar la casta de los soldados. Este grupo de hormigas tienen la cabeza de forma acorazonada y es visiblemente de mayor tamaño que las obreras menores, las antenas tienen 12 segmentos y los tres últimos formar un claro mazo (Wheeler y Wheeler, 1986; Fernández, 2003). Una especie de este género, *P. vistanai* (Forel), fue la más común en el estudio, y su casta de obreras menores se diferencia notablemente de los soldados por su forma alargada, coloración amarillo-rojizo y el escapo de la antena dos veces y media más largo que la longitud de su cabeza. Los hábitos alimenticios de este género son variados, existen especies granívoras, cortadoras y carroñeras y

generalmente fabrican sus nidos en el suelo bajo rocas. Las especies capturadas en el área periurbana de Ensenada fueron observadas desde áreas bien conservados hasta sitios con disturbio como zonas agrícolas y áreas urbanizadas.

Género *Pogonomyrmex* Mayr (BC: 10; MC: 2)

Este género de hormigas, se diferencian por la forma cuadrada de su cabeza, la superficie ventral de la cabeza usualmente con psamoforo, sin constricción entre el mesonoto y el propodeo (Mackay *et al.*, 1985; Wheeler y Wheeler, 1986; Mackay y Mackay, 2002). Se encuentran distribuidas principalmente en la región Neártica y Neotropical. En el oeste de los EEUU se consideran como uno de los grupos de hormigas más importantes (Clark y Blom, 2007), debido al rol que cumplen como dispersoras de semillas. Habitan en zonas áridas abiertas y se alimentan principalmente de semillas. Elaboran sus nidos en sitios abiertos, los cuales se puede identificar por la entrada del nido que generalmente son montículos en forma de cráter adornado con pequeñas piedritas (Ward, 2005). *P. californicus* (Buckley), se puede observar frecuentemente dentro del centro de población de Ensenada, mientras que *P. montanus* (Mackay), fue observada en sitios alejados con poco disturbio y vegetación aparentemente bien conservada.

Género *Solenopsis* Westwood (BC: 6; MC: 4)

Las especies de éste género son hormigas de tamaño pequeño, antenas con diez segmentos, de los cuales los dos últimos forman una maza (Fernández, 2003). El propodeo es redondeado y no posee espinas ni tubérculos, se diferencian de otros géneros por tener ojos muy pequeños, el escapo de la antena corto y el clípeo con un par de dientes como una continuación de la arista con prolongaciones laterales romas (Trager, 1991). Varias especies de este género son plagas, entre las más conocidas se encuentra la hormiga de fuego *S. invicta*, uno de los insectos más estudiados en EEUU (Fernández, 2003). Las especies del género *Solenopsis* son generalistas, anidan principalmente bajo el suelo, debajo de rocas aisladas y madera muerta. *S. xyloni* (McCook) y *S. amblychila* (Wheeler) fueron dos de las especies más comunes. Por otra parte *S. molesta* estuvo presente en cuatro sitios pero con pocos individuos. Además, se registró la presencia de *S. truncorum* (Forel) por primera vez en la península. Esta especie se encontró únicamente en vegetación de transición entre matorral y chaparral en suelos suaves con pocas rocas.

Género *Temnothorax* Mayr (BC: 17; MC: 3)

La identificación de sus especies es complicada y muchas aun se encuentran en proceso de ser identificadas. En la mayoría de las especies el tórax es ligeramente convexo visto lateralmente, tienen pelos gruesos y erectos, el propodeo generalmente posee espinas de tamaño variado (Fernández, 2003). Son de hábitos alimenticios generalistas y forman pequeñas colonias en diferentes tipos de sustrato como, árboles muertos o madera en descomposición, en el suelo bajo rocas, nidos abandonados de otras especies de hormigas e insectos (Wheeler y Wheeler, 1986; Mackay, 2000). *T. andrei* (Emery) se encontró en todos los sitios muestreados, a diferencia de *T. BCA-9* que fue colectada únicamente en dos sitios. Además se registró la presencia de *Temnothorax* sp.1 nd, que probablemente constituya un nuevo registro para la península de Baja California. Las especies de este género se encontraron en áreas con poco disturbio y vegetación aparentemente bien conservada.

Subfamilia Pseudomyrmecinae (BC: 2; MC: 1)

Los géneros de esta subfamilia se pueden reconocer por sus ojos notablemente grandes ocupando al menos la mitad de la cabeza.

Género *Pseudomyrmex* Lund (BC: 2; MC: 1)

Las especies de este género son principalmente neotropicales, aunque pueden encontrarse hacia el norte del continente americano. Las obreras de la única especie presente en el estudio, *P. apache* (Creighton), se diferencian por tener los ojos muy grandes, el escapo relativamente largo y la porción lateral del clípeo redondeado visto lateralmente (Ward, 1985). Esta especie se encuentra en zonas bajas y medias en la península de BC, anida en arbustos como el manzanito (Ward, 2005). En nuestro estudio se encontró un único individuo en un sitio muy impactado por la presencia de basureros y caminos de terracería.

6.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS Y RELACIÓN CON LAS COMUNIDADES DE HORMIGAS

6.2.1. Análisis de los sitios

El análisis de conteo de los individuos mediante el ANOVA de los nueve sitios indica que existieron diferencias significativas ($p = <0.05$), estas diferencias se dieron a nivel de sitio y especies (Tabla 3). El análisis de similitud con el índice de Jaccard, indica que los sitios con mayor similitud fueron el Cañón de Doña Petra (CDP), el Libramiento (LIB) y el Mirador (MIR) por una parte, y el cerro del CETYS (CET), Valle Dorado (VDO), Maneadero (MZA) y la Bufadora (BUF), formando un segundo grupo; separados de estos dos grupos se encuentran el Rancho Horse Power (RHP) y Ecoterra (ECO) (Figura 6). Estas similitudes coinciden con la descripción física de los sitios, que muestran al CDP y LIB orientados hacia el este y con tipo de suelo arcilloso y elevación menor a los 200msnm. Por otra parte, los sitios CET y VDO se encuentran orientados hacia el oeste, ubicados entre 101 y 200 msnm y la textura del suelo es rocosa, MZA y BUF fueron similares por el tipo de suelo compacto (Tabla 2). A pesar que los sitios ECO y RHP, se encuentran orientados hacia el sur, se elevan por encima de los 200msnm y la textura de su suelo es arcillosa, no se asociaron en el análisis de similitud.

6.2.2. Análisis de las Variables ecológico-geográficas y biológicas

El análisis de regresión logística ordinal del área núcleo y el buffer externo, no mostró una relación de causalidad entre las variables explicativas (de manera independiente) y las comunidades de hormigas de cada sitio (Prueba de bondad de ajuste de Pearson $p=1,000$) (Tabla 4). Esto indica que el aumento, disminución, presencia o ausencia individual de las variables propuestas, no afecta en la riqueza de especies de hormigas.

6.2.3. Modelos lineales

La respuesta de la riqueza de especies de hormigas a las diferentes variables (de manera combinada), analizadas con el modelo lineal general (GLIM), muestra que en el área núcleo las variables pendiente y altitud, al incorporar el tipo de suelo (ya que por sí solas no lo explican), podrían explicar la estructuración de las comunidades de hormigas. La riqueza de especies de hormigas con la variable pendiente fue significativamente diferente cuando se le incorporó el tipo de suelo (Pendiente 0-10° y Suelo rocoso T 2gl= 4.82).

Además la interacción de las variables Altitud y Suelo y las interacciones entre sus categorías fueron significativamente diferentes (Altitud 101-200 y suelo arcilloso T 5gl= 2.95; Altitud 101-200 y suelo rocoso T 5gl= 4.57; y, Altitud <200 y suelo compacto T 5gl= 2.91) (Tabla 5).

En el buffer externo, se detectaron diferencias significativas en las variables de pendiente y suelo y en las interacciones de Pendiente–Altitud, Pendiente– Suelo, y Orientación–Suelo. Al incorporarse la variable altitud con la pendiente se observaron diferencias significativas entre las pendientes 21-30° y Altitud >201 T 2gl= 4.47 y, pendientes 1 y 2 de 0 a 30° y Altitud 101-200 T 2gl= 4.3. Además las pendientes de 0-10° y suelo compacto T 2gl= 4.69 y Altitud >201 y suelo rocoso T 2gl= 4.48. Finalmente se encontraron diferencias significativas entre las interacciones de pendiente 0-10° y altitud 101-200 T 5gl= 2.95, pendiente 0-10° y altitud >300 T 5gl= 4.17; y, pendiente 11-20° y altitud 101-200 T 5gl= 2.59.

En las interacciones del buffer externo, se observaron diferencias entre pendientes 0-10° y suelo compacto T 5gl= 3.38, pendientes 11-20° y suelo compacto T 5gl= 3.17, pendientes 11-20° y suelo rocoso T 5gl= 3.53, pendientes 1y2 de 0 a 20° y suelo compacto T 5gl= 3.1; y, pendientes 1y2 de 0 a 20° y suelos compacto y rocoso T 5gl= 3.8. Además se observaron diferencias entre las interacciones de las Orientaciones norte y este con el suelo compacto T 8gl= 2.39 (Tabla 5).

7. DISCUSIÓN

7.1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES DE HORMIGAS

7.1.1. Número total de especies

Las 40 especies registradas en un área relativamente pequeña, nueve sitios distribuidos en una franja de matorral costero periurbano de aproximadamente 298 km², representan un valor elevado comparado con las 176 especies reportadas por Johnson y Ward (2002) para toda la península. Este elevado número de especies encontradas en un área relativamente pequeña, puede deberse a la escasez de muestreo de trabajo de campo intensivo en la península. Estos resultados confirman lo sugerido por Johnson y Ward (2002) sobre lo incompleta de la lista de 176 especies que reportaron. El registro en este trabajo de tres nuevas especies para la península apoya la verosimilitud de este argumento. Sin embargo, posiblemente también pueda ser que este tipo de vegetación mediterránea presente elevado valor de riqueza local de especies (Holway y Suarez, 2006).

7.1.2. Abundancia de especies

Se encontraron dos especies, *C. californica* y *P. vistana*, numéricamente dominantes a lo largo de los nueve sitios muestreados, en tanto que para ocho especies (20% del total) sólo se registraron uno ó dos individuos. Estas diferencias observadas en el número de individuos por especies, podrían estar relacionadas con el comportamiento y hábitos alimentarios de las especies. Las dos especies dominantes, son ágiles, reclutan masivamente, son agresivas, interaccionan interespecíficamente y suelen formar agrupaciones con especies de comportamiento similar, desplazando especies menos agresivas que suelen presentarse en números reducidos (Silvestre *et al.*, 2003). La existencia de tan elevado número de especies raras es un indicio de la probable existencia de numerosas especies no encontradas, como lo confirma el hecho del descubrimiento de tres especies no registradas previamente para la península.

Implicaciones en el manejo de ecosistemas. El utilizar gremios o grupos funcionales de hormigas en el manejo de ecosistemas, Andersen (1990 y 1997) sugiere que las hormigas son valiosas y ampliamente predictivas dependiendo de la escala, por ejemplo, puede que la precisión de la predicción a nivel de especie sea baja, pero a nivel de grupos

funcionales se pueden observar mejor los patrones de sucesión, rehabilitación y restablecimiento de especies (Andersen, 1993). En ese sentido, el haber encontrado una alta riqueza de especies de hormigas en este estudio, resulta ventajoso y proporciona un alto potencial de uso de las comunidades de hormigas como sensores de cambios ecológicos.

7.1.3. Pocas especies exóticas

Un resultado inesperado es el reducido número encontrado de especies no nativas. Sólo se encontró una especie (*Linepithema humile*) entre las 40 registradas, a pesar de haberse observado especies no nativas en el área urbana de Ensenada (ej., *Paratrechina longicornis* y *Monomorium pharaonis*). El hecho de encontrar únicamente *L. humile*, podría deberse a que esta especie es más frecuente cerca de los bordes urbanizados y áreas dominadas por vegetación introducida (Suarez, *et al.*, 1998).

La presencia de *L. humile* en tan sólo una trampa de uno de los sitios muestreados podría ser indicar la reciente llegada de la especie a la zona y lo incipiente de su proceso de expansión. Esta especie puede desplazar otros artrópodos y explotar los recursos de áreas relativamente pequeñas (Ward, 1987; McIntyre, 2000), pudiendo afectar negativamente la flora y fauna nativa del área periurbana de Ensenada, ya que las especies nativas necesitan áreas más extensas y mejor conservadas (Gove, *et al.*, 2005). El impacto potencial de esta especie amerita seguimiento y estudios en detalle de sus poblaciones y su dinámica geográfica en los alrededores de Ensenada y otras áreas próximas. Además, las consecuencias de no incluir el rastreo de nuevas introducciones de especies exóticas y el seguimiento de la expansión de *L. humile*, en los planes de manejo del matorral costero, puede tener consecuencias severas en el mantenimiento de este ecosistema, ya que esta especie puede desplazar especies de hormigas dispersoras de semillas, afectado el reclutamiento de las plantas y la composición de la comunidad vegetal (Rowles y Dowd, 2007).

7.1.4. Rangos de distribución geográfica de las especies presentes

Todas las especies encontradas en este estudio (a excepción de *Brachymyrmex* sp.1 nd y *Temnothorax* sp.1 nd, aún por identificar) han sido reportadas para el Estado de California (USA), resultado de la continuidad natural y pertenencia de la región de Ensenada a la Provincia Florística de California que engloba la mayor parte de dicho Estado. En este

sentido se entiende la existencia de una alta proporción de especies (30%) cuya distribución se considera restringida a la Provincia Florística de California, pero significativamente existe también una elevada proporción, mayor incluso, de especies de amplia distribución geográfica (43%). Este hecho puede estar relacionado con la ubicación de la región de Ensenada en el extremo sur del área mediterránea, y en la proximidad de la zona de transición con la región desértica que ha sido establecida para distintos taxa en entre Ensenada y El Rosario (30° N) (Westman, 1983; Álvarez-Castañeda *et al.*, 1995; Mellink, 2002).

7.1.5. Procedimientos de muestreo

Los métodos de muestreo utilizados, trampas de caída, cebos y colecta manual permitieron estimar la composición y abundancia de especies de hormigas. La información obtenida en las trampas con cebos y colecta manual ofreció información de la densidad de forrajeadores y sitios de forrajeo (Bestelmeyer *et al.*, 2000). Sin embargo, las trampas de caída proveen una medida de importancia en la comunidad mediante la integración de ambos atributos, el forrajeo y los patrones de dispersión de la colonia (Greenslade, 1973). Las diferentes técnicas de colecta empleadas, obtuvieron marcadas diferencias en el número de especies que capturaron, causadas además por el tipo de trampa en sí, por el tiempo de exposición y esfuerzo de muestreo, por lo cual sus resultados no pueden ser comparables entre sí (Agosti y Alonso, 2003).

Los resultados resaltan el valor de levantar información biológica detallada espacialmente, como es el caso del matorral costero del área periurbana de Ensenada, que por su gran riqueza y diversidad florística brindan importante información de las interacciones planta-animal y las relaciones que se dan en este ecosistema tan frágil. Además, de la importancia de realizar estos estudios en áreas que están constantemente sujetas a perturbación y destrucción. Durante el desarrollo de este trabajo, ya que uno de los sitios de muestreo ubicado en el cañón de Doña Petra fue eliminado por expansión urbana y el sitio cercano a ECOTERRA en la Encantada el cual se quemó. Con lo cual, este estudio ofrecerá información histórica de las especies que alguna vez habitaron ese sitio y/o los procesos de sucesión o colonización que pueden ocurrir en sitios expuestos a estos tipos de impactos.

7.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS Y RELACIÓN CON LAS COMUNIDADES DE HORMIGAS

7.2.1. Efectos de las variables ecológico-geográficas de los sitios de estudio sobre la riqueza de especies de hormigas

Los resultados mostraron que especies claves como *Messor andrei* (cosechadora), *Pogonomyrmex montanus* (granívora), *Dorymyrmex bicolor* y *Forelius mccooki* (ambas generalistas y abundantes), fueron registradas principalmente en sitios donde se observó un tipo de suelo arcilloso suave y una mayor cantidad de arbustos. Estas características (principalmente la vegetación que provee mayor cantidad de sombra), podrían ayudar a mantener mayores niveles de humedad, lo que favorecería el acceso a una mayor cantidad de recursos alimenticios, y sitios de anidación promoviendo el establecimiento de nuevas colonias (Wang, *et al.*, 2001).

Los resultados muestran que las comunidades de hormigas expresan varios cambios en la riqueza y abundancia de individuos, lo que sugieren que el tipo de suelo, puede afectar la estructura de las comunidades de hormigas (Graham, *et al.*, 2004, Sanford *et al.*, 2008). La similitud entre sitios con respecto a la orientación y tipo de suelo están influenciadas por las características topográficas del área periurbana de Ensenada, en sitios similares se pudo observar que la influencia del clima sobre los factores físicos del sitio juegan un papel importante en las características de la vegetación, afectando directamente a la riqueza de especies de hormigas. Esto se debe a la influencia de los vientos que confluyen en esta región, ya que durante la primavera y el verano los vientos fuertes fluyen en dirección noreste, promoviendo la formación de las densas neblinas que traen consigo humedad (Gorsline y Stewart, 1962).

La orientación también influye sobre las características del suelo, las laderas orientadas hacia el sur reciben indirectamente mayor humedad en la primavera y verano, debido a los fuertes vientos (hasta 35 km/h) que traen densas neblinas desde el noreste (Gorsline y Stewart, 1962, Del Valle, 1979), lo que ayuda a mantener las temperaturas del suelo bajas, y las laderas norte y oeste reciben con mayor intensidad los rayos de sol promoviendo el aumento de la temperatura y con ello la evaporación. La orientación de los sitios afecta en la exposición directa a la luz solar, esto coinciden con los resultados obtenidos en el

estudio, donde se observó una mayor riqueza de especies en sitios orientados hacia el sur (22 especies en RHP, 20 en ECO y 17 en BUF) y hacia el este.

La riqueza de especies de hormigas encontrada en los nueve sitios, no fue explicada por las variables propuestas, este resultado difiere de otros estudios donde encontraron que el tipo de cobertura vegetal (Alvarado, 2000; Retana y Cerdá, 2000; Dauber, *et al.*, 2005; Corley, *et al.*, 2005; Vasconcelos, *et al.*, 2008) y el grado de disturbio (Gove, *et al.*, 2005, Sanford *et al.*, 2008), son factores importantes para explicar la riqueza de especies presentes en un área. Sin embargo, Dauber, *et al.*, (2003), encontraron en su estudio que la calidad y variabilidad de las variables (similares a las utilizadas el presente estudio), probablemente no fueron apropiadas para explicar con claridad la riqueza de especies de hormigas, debido a que la estructura de la comunidad de hormigas ha sido frecuentemente medida a nivel regional (Bestelmeyer y Wiens, 1996), considerando parches de vegetación de mayor tamaño y antigüedad. En ese sentido, sugiere considerar factores ambientales como la temperatura, fuertemente asociada con el comportamiento de las hormigas (Arcila y Lozano-Zambrano, 2003; Peterson y Nakazawa, 2008). Otros autores sugieren que la presencia de especies, se explica mejor a escala del paisaje en que se realiza el análisis (Debinski, *et al.*, 2001). En ese sentido la escala en la que podríamos apreciar mejor estos efectos de los factores físicos donde habitan las hormigas serían evidentes a una mayor escala, considerando la distribución de las especies a lo largo del área con matorral costero.

7.2.2. Modelos lineales generalizados

Resulta interesante el no registrar una relación de causalidad entre la riqueza de especies de hormigas y el tipo de cobertura, ya que como se menciona anteriormente, el tipo de cobertura es fundamental en la composición de la comunidad de hormigas. Sin embargo, encontramos en nuestros modelos que la variable cobertura, de manera independiente, explica sólo el 44.6% (área núcleo) y 40.2% (Buffer externo), a diferencia del tipo de suelo que de manera independiente explica el 58.6% y 66.4% de la varianza respectivamente. A pesar que las variables combinadas explican una gran proporción de la varianza, aun es necesario considerar otros factores que se conocen tienen incidencia directa en la regulación de las poblaciones de hormigas. Al igual que Dauver *et al.* (2003), se considera que es necesario incluir en el análisis factores basados en los recursos (alimento y sitios

para anidar), condiciones ambientales (temperatura y humedad) e interacciones entre poblaciones que regulan el acceso a los recursos disponibles (Kaspari, 2003).

Los resultados obtenidos, también coinciden con los hallazgos del trabajo de Dauver *et al.* (2003), en el cual se esperaba que las variables de sus fragmentos y matrices explicaran la presencia de las hormigas, abejas y plantas. Sin embargo, sus modelos explicaron únicamente el 50% de la variación de los datos. En el área núcleo, nuestros modelos sugieren que la modificación del tipo de suelo pudiera variar la riqueza de especies, además las variables pendiente y altura interactuando con el tipo de suelo también podrían ser un factor que determine la riqueza de especies de hormigas. En el Buffer externo, el escenario fue similar, aunque también la interacción de la orientación con el tipo de suelo podría afectar la presencia de las hormigas.

El factor tipo de suelo, podía limitar la riqueza de especies de hormigas, ya que la construcción de sus nidos parece depender de la compactación del suelo. Además, otras variables no medidas como la sombra de la vegetación (Jasinski, 1990) y la temperatura, afectan directamente en la superficie del suelo (Johnson, 2000a, Lal y Shukla, 2004). Además, es probable que en zonas áridas del mediterráneo la anidación en sitios abiertos con suelo suave sea más eficaz, pudiendo capturar mejor el calor del día para ser almacenado en las cavernas interiores del hormiguero, a diferencia de desiertos fríos como la tundra que alberga nidos de hormigas debajo de las piedras o áreas despejadas como bosques tropicales donde las hormigas incluso limpian claros para permitir el intercambio de temperatura (Kaspari, 2003). Estas preferencias de anidación en suelos suaves, facilitarían la movilidad y el desarrollo de la colonia hacia el interior del suelo. Esto coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, en los cuales se detectó que la riqueza de especies disminuye en sitios con suelos compactos a rocosos. Además, las especies que prefieren estos tipos de suelo *M. andrei*, (Hobbs, 1985; Brown y Human, 1997; Boulton, *et al.*, 2003) *P. californicus* y *P. montanus* (Tevis, 1958; Davidson, 1977b; Johnson, 2000b), son especies dispersoras de semillas y modeladora de la estructura del suelo y vegetación, e incluso *F. Mccooki*, especie dominante que puede limitar los recursos a otras especies (Schooley, *et al.*, 2000), pueden ser consideradas como especies clave en la estructura de la comunidad.

Ciertamente los modelos obtenidos pueden ser mejorados incluyendo otras variables que no fueron consideradas en el estudio, pero aun esto no garantiza que las variables

sugeridas extrapoladas a otros sitios con características similares, obtengan resultados equivalentes. Es necesario indicar, que en el matorral costero como en otros hábitats los cambios a nivel físico y climático son frecuentes, esto aunado a la inevitable dispersión de especies invasivas como la hormiga argentina presentan un reto para las futuras tomas de decisión para el manejo de las áreas con matorral costero. Además, es importante considerar que los patrones de segmentación, sucesión en interacciones insecto-planta también modifican la estructura del suelo y vegetación (King *et al.* 1998). En ese sentido, la inclusión de estudios de de segmentación de hábitat basados en la caracterización de los sitios y su relación con la riqueza de especies de hormigas, deberían ser considerados en las propuestas de protección y restauración de hábitat. Ya que la Ley General de vida Silvestre (LGVS) en el capítulo I Artículo 20 y Art. 20 inciso B, menciona que es necesario realizar estudios para la ponderación de los diversos valores culturales, sociales, económicos y ecológicos de la biodiversidad. También en la misma ley en el capítulo IX Art. 48 menciona la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), donde se establece en el Art. 35 la necesidad de generar información en materia forestal. Además, en el Art. 39 de la LGDFS, en el apartado X del Sistema Nacional de Información Forestal, menciona como uno de sus objetivos que las autoridades federales, estatales y municipales deben proporcionar la información con respecto a la planeación y evaluación del desarrollo forestal sustentable (LGVS, 2007; CONAFOR, 2010).

8. CONCLUSIONES

- En el Matorral costero periurbano de Ensenada, se registró un total de 40 especies de hormigas que representan el 22.7% del total de especies de la mirmecofauna presente en la península de Baja California.
- A pesar de encontrar únicamente *L. humile* como especie introducida, las implicaciones de los efectos negativos sobre la riqueza de especies de hormigas nativas y colateralmente en los procesos ecológicos (como por ejemplo la dispersión de semillas), son una amenaza latente, ya que esta especie por sus características de agresividad y fácil dispersión tienen gran potencial de invadir las áreas de matorral costero periurbano.
- Los tres nuevos registros de distribución para la península de Baja California, reafirman la necesidad de realizar más estudios que ayuden a conocer mejor la diversidad de hormigas y los servicios ambientales que prestan al ecosistema.
- Las interacciones entre las variables suelo, altitud, pendiente y orientación pueden incidir en la riqueza de especies de hormigas.
- La variable tipo de suelo asociada a la pendiente, altitud y orientación puede explicar más del 80% de la varianza de la riqueza de especies con respecto a las variables combinadas, sin embargo, se sugiere que en estudios futuros se incluyan las condiciones ambientales (temperatura, humedad y precipitación) y variables del comportamiento de las especies muestreadas.
- El matorral costero en el área periurbana de Ensenada, de acuerdo al desarrollo urbano que se ha presentado en los últimos años, tienen un alto potencial de ser urbanizados, de acuerdo con los resultados encontrados se debe considerar la conservación de áreas con matorral costero, con suelos suaves arcillosos ya que en estos se concentró la mayor riqueza de especies y por lo tanto una mayor cantidad de servicios ambientales por parte de la comunidad de hormigas que inciden directamente en la conservación del ecosistema, además estos sitios por su textura suave resultan peligrosos para levantar edificaciones.

9. BIBLIOGRAFIA

- Agosti, D., J. Majer, E. Alonso & T.R. Schultz. (2000). *Ants: Standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, 269 pp.
- Agosti, D. & L.E. Alonso (2003). El protocolo ALL: un estándar para la colección de hormigas de suelo. En F. Fernández. *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* (pp. 415-418). Bogotá Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Alvarado, M. (2000). Habitat correlates of ant assemblages in different forest of the south Pannonian plain. *TISCIA* 32. Pp. 35-42.
- Álvarez-Castañeda, S.T., C.A. Salinas-Zavala, y F. De Lachica (1995). Análisis biogeográfico del noroeste de México con énfasis en la variación climática y mastozoológica. *Acta Zoológica Mexicana* 66: 59-86.
- Andersen, A.N. (1990). The use of ant communities to evaluate change in Australian terrestrial ecosystems: a review and a recipe. *Proceedings of the Ecological Society of Australia*, 16, pp. 347–357.
- Andersen, A.N. (1991) Responses of ground-foraging ant communities of three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. *Biotropica* 23, pp. 575-585.
- Andersen, A.N. (1993). Ants as indicators of restoration success at an uranium mine in tropical Australia. *Restoration Ecology*, 1, pp. 156–167.
- Andersen, A.N. (1997). Using ants as bioindicators: multiscale issues in ant community ecology. *Conservation Ecology*: pp. 1-8.
- Andersen, A.N., B.D. Hoffmann, W.J. Müller & A.D. Griffiths (2002). Using ants bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. *Journal of applied ecology* 39, pp. 8-17.

- Antbase. (2010). How many ants (Formicidae) are there?.
<http://www.antbase.org/index.htm>. (Consulta 22 Agosto de 2010).
- Arcila, A.M. & F.H. Lozano-Zambrano (2003). Hormigas como herramienta para la bioindicación y el monitoreo. En F. Fernández. Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical (pp. 159-166). Bogotá Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Arnett Jr., R.H. (2000). American insects: A Handbook of the insects of America North of Mexico. CRC Press, Gainesville, Florida.
- Aronson, J., C. Foret, E. LeFloc'h, & R. Pontanier (1993). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A review from the south. Restoration ecology, pp. 8-17.
- Austin, M.P., R.B. Cunningham & P.M. Fleming (1984). New approaches to direct gradient analysis using environmental scalars and statistical curve-fitting procedures. Vegetatio 55, pp. 11–27.
- Austin, M.P. & M.J. Gaywood (1994). Current problems of environmental gradients and species response curves in relation to continuum theory. J. Veg. Sci. 5, pp. 473–482.
- Barrows, C.W, M.F. Allen, & J.T. Rotenberry (2006). Boundary processes between a desert sand dune community and an encroaching suburban landscape. Biological conservation 131, pp. 486-494.
- Begon, M., C.R. Townsend & J.L. Harper (2006). Ecology: From Individuals to Ecosystems. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Bestelmeyer, B.T. & J.A. Wiens (1996) The effects of land use on the structure of ground-foraging ant communities in the Argentine Chaco. Ecological applications 6: pp. 1222-1240.
- Bestelmeyer, B.T., D. Agosti, L.E. Alonso, C.R.F. Brandão, W.L. Brown Jr., J.H.C. Delabie, & R. Silvestre (2000). Field Techniques for the Study of Ground-Dwelling Ants: An Overview, Description, and Evaluation, pp.122-144 in D. Agosti, J. D. Majer, L. E. Alonso and T. R. Schultz, eds., *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Smithsonian Institution Press.

- Bestelmeyer, B.T. & J.A. Wiens (2001). Ant biodiversity in semiarid landscape mosaics: The consequences of grazing vs. natural heterogeneity. *Ecological applications* 11(4), pp. 1123-1140.
- Blom, P.E. & W.H. Clark (1980). "Observations of ants (Hymenoptera: Formicidae) visiting extrafloral nectaries of the barrel cactus, *Ferocactus gracilis* Gates (Cactaceae), in Baja California, Mexico." *Southwest. Nat.* 25: pp. 181-195.
- Bolton, B. (1994). Identification guide to the ant genera of the world. Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts, USA. 222 pp.
- Borror, D.J., D.M. DeLong & C.A. Triplehorn (1976). An Introduction to the Study of Insects, Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Boulton, A.M., B.A. Jaffee, & K.M. Scow (2003). Effects of a common harvester ant (*Messor Andrei*) on richness and abundance of soil biota. *Applied soil ecology* 23, pp. 257-265.
- Briese, D.T. (1982). The effect of ants on the soil os a semi-arid saltbush habitat. *Insectes sociaux*, Paris Vol. 29, No. 2 bis, pp. 375-386.
- Brown, K.S. (1991). Conservation of neotropical environments: insects as indicators. In: Collins, N.M., Thomas, J.A. (Eds.), *The Conservation of insects and their Habitats*. Academic Press, London, pp. 349-404.
- Brown, M.J.F. & K.G. Human (1997). Effects of harvester ants on plant species distribution and abundance in serpentine grassland. *Oecologia* 112: pp. 237-243.
- Buczkoski, G. & G.W. Bennett (2006). Dispersed central-place foraging in the polydomous odorous house ant, *Tapinoma sessile* as revealed by a protein marker. *Insect. Soc.* 53, pp. 282–290.
- Buren, W.F. (1968). A review of the species of *Crematogaster*, sensu stricto, in North America (Hymenoptera, Formicidae). Part II. Descriptions of new species. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 3, pp. 91–121.
- Burge, D.O. (2005). "Taxonomy, biology, and distribution of seed harvesting ants in the *Pheidole californica complex* (Hymenoptera: Formicidae)." *J. Hym. Res.* 14: 137-150.

- Carney, S.E., M.B. Byerley & D.A. Holway (2003). Invasive Argentine ants (*Linepithema humile*) do not replace native ants as seed dispersers of *Dendromecon rigida* (Papaveraceae) in California, USA. *Oecologia* (Berlin), 135, pp. 576–582.
- Clark, W.H., P.E. Blom, & A.M. Lowman (1986). "Contents of a nest of the desert ant, *Pheidole grallipes* Wheeler, in Baja California, México." *Pan-Pac. Entomol.* 62: pp. 99-102.
- Clark, W.H. & P. Blom (1988). "Observations on the relationship between ants (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae, Dorylinae) and *Araeoschizus* (Coleoptera: Tenebrionidae)." *J. Idaho Acad. Sci.* 24: pp. 34-37.
- Clark, W.H. & P.E. Blom (1992). "An efficient and inexpensive pitfall trap system." *Entomol. News* 103: pp. 55-59.
- Clark, W.H. (1996). "Predation on the harvester ant, *Pogonomyrmex tenuispina* Forel (Hymenoptera: Formicidae), by the spider, *Steatoda fulva* (Keyserling) (Araneae: Theridiidae) in Baja California sur, Mexico." *Southwest. Entomol.* 21: pp.213-217.
- Clark, W.H., & P.E. Blom (2007). *Ants of the Idaho National Laboratory*. Chico CA USA. 117 pp.
- CNA. (2008). Normales climatológicas 1971–2000. Estación Agua Caliente, Ensenada, B.C. Available at: <http://www.smn.cna.gob.mx> Accessed 14 May 2008.
- CONABIO, (2010). <http://www.conabio.gob.mx/>
- CONAFOR, (2010). <http://www.conafor.gob.mx/>
- Coria-Benet, R., F. Solis-Marin, A. Ortega-Rubio, H. Romero-Schmidt & C. Arguelles-Mednez, (1993). "Absence of response of ant numbers to livestock exclosure at Baja California Sur, Mexico." *Arq. Biol. Tecnol. Curitiba* 36: pp. 829-837.
- Cooperrider, A. (1986). Terrestrial physical features. Pages 587-601. In: Cooperrider A.Y., Boyd, R.J., & Stuart, H.R. (eds.) *Inventory and monitoring of wildlife habitat*. U.S. Dept. Inter., Bur. Land Manage. Service Center, Denver, Co. XVIII, 858pp.

- Corley J., P. Sackmann, V. Rusch, J. Bettinelli, & J. Paritsis (2006). Effects of pine silviculture en the ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) of the Patagonian steppe. *Forest Ecology and Management* 222. Pp. 162-166.
- Creighton, W.S. (1950). The ants of North America. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 104, pp. 1–585.
- Cuezzo, F. (2000). Revisión del género *Forelius* (Hymenoptera: Formicidae; Dolichoderinae). *Sociobiology*, 35, pp. 199–275.
- Cuezzo, F. (2003). Subfamilia Dolichoderinae cap. 20. En F. Fernández, *Introducción a las hormigas de la región neotropical*. (pp. 89-96). Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Dauber, J.M. Hirsch, D. Simmering, R. Waldhardt, A. Otte & V. Wolters (2003). Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effect on species richness. *Agriculture, Ecosystems and Environmental* 98, pp. 321-329.
- Dauber, J. & V. Wolters (2004). Edge effects on ants community structure and species richness in an agricultural landscape. *Biodiversity and conservation* 13: pp. 901-915.
- Dauber, J., J. Bengtsson & L. Lenoir (2005). Evaluating effects of habitat loss and land-use continuity on ant species richness in seminatural grassland remnants. *Conservation biology* Vol. 20, No. 4, pp. 1150-1160.
- Davidson, D.W. (1977a). Foraging ecology and community organization in desert seed-eating ants. *Ecology* Vol. 58, pp. 725-737.
- Davidson, D.W. (1977b). Species diversity and community organization in desert seed-eating ants. *Ecology* 58: pp. 711-724.
- Debinski, D.M., Ch. Ray & E.H. Saveraid (2001). Species diversity and the scale of the landscape mosaic: do scales of movement and patch size affect diversity? *Biol. Conserv.* 98, pp. 179–190.
- Delabie, J.H. (1988). Ocorrencia de *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863) (Hymenoptera: Formicidae, Myrmicinae) em cacauasis na Bahia, Brasil. *Rev. Theobroma*. 18: pp. 29-37.

- Delabie, J.H. (2001). Trophobiosis between formicidae and hemiptera (Sternorrhyncha and Auchenorrhyncha): an overview. *Neotropical entomology* 30 (4). Pp. 501-516.
- Delabie, J.H. & F. Fernández (2003). Relaciones entre hormigas y homópteros (Hemiptera: Sternorrhyncha y Auchenorrhyncha). En F. Fernández. *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* (pp. 181-197). Bogotá Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Delabie, J.H., M. Ospina, & G. Zabala (2003). Relaciones entre hormigas y plantas: una introducción. En F. Fernández. *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* (pp. 167-180). Bogotá Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Delgadillo, J. (1998). *Florística y ecología del norte de Baja California*. 2da. Edición. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C.
- Del Valle, L.I. (1979). Aplicación de un modelo numérico y análisis de condiciones hidrodinámicas en Bahía San Quintín, Baja California. Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE. 145 pp. En Torres-Torner, J.G. 2001. Caracterización de hábitat de *Poliophtila californica* en Punta Mazo San Quintín.
- Espejel, I., G. Aramburo, C. Leyva, Y. Cruz, L.C. Bravo & W. Zúñiga, (2002). Coastal vegetation of northwest Baja California: Conservation options. *Bight bulletin/Boletín de la cuenca* 5: pp. 1-5.
- Ellis, E.C. & N. Ramankutty (2008). Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: pp. 439-447.
- Ellis E.C., K.K. Goldewijk, S. Siebert, D. Lightman & N. Ramankutty (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography*. 19: pp. 589-606.
- Fernández, F. (2003). *Introducción a las hormigas de la región neotropical*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 378 pp.

- Flatt T, & W.W. Weisser (2000). The effects of mutualistic ants on aphid life history traits. *Ecology* 81:3522-29
- Folgarait, P.J. (1998). Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and conservation* 7, pp. 1221-1244.
- Garcillán P., J.P. Rebman, & F. Casillas (2009). Analysis of the non-native flora of Ensenada, a fast growing city in northwestern Baja California. *Urban Ecosyst* 12: pp. 449-463.
- Goldstein, E.L. (1975). Island biogeography of ants. *Evolution* 29: pp.750-762.
- Gorsline, D.E. & R.A. Stewart (1962). Benthic marine exploration of Bahía San Quintín, B.C. 1960-61. *Pacific Naturalist* 2: pp. 275-280. En Torres-Torner, J.G. 2001. Caracterización de hábitat de *Poliophtila californica* en Punta Mazo San Quintín. Tesis de grado, CICESE.
- Gove, A.D., J.D. Majer. & V. Rico-Gray (2005). Methods for conservation outside of formal reserve systems: The case of ants in the seasonally dry of Veracruz, México. *Biological conservation* 126, pp. 328-338.
- Graham, J.H., H.H. Hughie, S. Jones, K. Wrinn, A.J. Krzysik, J.J. Duda, D.C. Freeman, J.M. Emlen, J.C. Zak, D.A. Kovacic, C. Chamberlin-Graham, and H. Balbach (2004). Habitat disturbance and the diversity and abundance of ants (Formicidae) in the Southeastern Fall-line Sandhills. *Journal of Insect Science* 4: pp. 4-30.
- Greenslade, P.J.M. (1973). Sampling ants with pitfall traps: Digging-in effects. *Insectes Sociaux* 20, pp. 343-353.
- Guisan, A & N.E. Zimmermann (2000). Predictive habitat distribution models in Ecology. *Ecological Modelling* 135, pp. 147-186.
- Handel, S. & A. Beattie (1990). La dispersion des graines par les fourmis. *Pour la Science* 156: pp. 54-61.
- Hensen, I. (2002). Seed predation by ants in south-eastern Spain (Desierto de Tabernas, Almería). *Anales de biología* 24: pp. 89-96.

- Hobbs, R.J. (1985). Harvester ant foraging and plant species distribution in annual grassland. *Oecologia* 67: pp. 519-523.
- Hölldobler, B. & E.O. Wilson (1990). *The ants*. Cambridge University Press. 732 pp.
- Holway, D.A. & A.V. Suárez (2006). Homogenization of ant communities in mediterranean California: The effects of urbanization and invasion. *Biological conservation* 127, pp. 319-326.
- Ibáñez, J. & P. Soriano (2004). Hormigas, aves y roedores como depredadores de semillas en un ecosistema semiárido andino de Venezuela. *Ecotrópicos* 17(12), pp.38-51.
- INEGI. (2006). Censo de población y vivienda 2005. Available at: www.inegi.gob.mx
Accesed 14 March 2008.
- INEGI. (2010). Información geográfica. Continuo de elevaciones Mexicano.
<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=geo&c=911>
- Jasinski, M.F. (1990). Sensitivity of the normalized difference vegetation index to subpixel canopy cover, soil albedo, and pixel scale. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 32, pp. 169-187.
- Jeanne, R.L. (1979). A latitudinal gradient in rates of ant predation. *Ecology* 60: pp. 1211-1224.
- Johnson, R.A. (2000). "Reproductive biology of the seed-harvester ants *Messor julianus* (Pergande) and *Messor pergandei* (Mayr) (Hymenoptera: Formicidae) in Baja California, Mexico." *J. Hym. Res.* 9: pp. 377-384.
- Johnson, R.A. (2000a). Habitat segregation based on soil texture and body size in the seed-harvester ants *Pogonomyrme rugosus* and *P. barbatus*. *Ecol. Entomol.* Vol. 25, pp. 410-412.
- Johnson, R.A. (2000b). Seed harvester ant (hymenoptera: formicidae) of North America: an overview of ecology and biogeography. *Sociobiology* Vol. 36, pp. 89-122.

- Johnson, R.A. & P.S. Wadr (2002). Biogeography and endemism of ants (Hymenoptera: formicidae) in Baja California, Mexico: a first overview. *Journal o Biogeography* 29 , pp. 1009-1026.
- Johnson, R.A. (2004). Biogeographical parallels between plants and ants in north American deserts (Hymenoptera: Formicidae; Spermatophyta). *Myrmecologische Nachrichten* 8, pp. 209-218.
- Kalisz, S., F.M. Hanzawa, S.J. Tonsor, D.A. Thiede & S. Voigt, (1999). Ant-mediated seed dispersal alters Pattern of relatedness in a population of *Trillium grandiflorum*. *Ecology* 80(8), pp. 2620-2634.
- Kaspari, M. (2003). Introducción a la ecología de las hormigas. En F. Fernández. *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* (pp. 96-112). Bogotá Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Keeley, J.E. (1986). Resilience of Mediterranean shrub communities to fires. En: *Resilience in Mediterranean-type ecosystems*. Dell, B., Hopkins A.J.M. & Lemont, B.B. (eds). Dordrecht, Netherlands, pp. 95-112.
- Keller, L. & E. Gordon, (2009). *The lives of ants*. Oxford University press. Oxford New York. 252 pp.
- King, J.R., A.N. Andersen & A.D. Cutter (1998). Ants as bioindicators of habitat disturbance: validation of the functional group model for Australia's humid tropics. *Biodiversity and conservation* 7, pp. 1627-1638.
- Korzukhin, M.D., M.T. Ter-Mikaelian, & R.G. Wagner (1996). Process versus empirical models: which approach for forest ecosystem management? *Can. J. For. Res.* 26, pp. 879-887.
- Lal, R. & M.K. Shukla (2004). *Principles of soil physics*. Marcel Dekker, New York. 669 pp.
- Lattke, J.E. (2003). Biogeografía de las hormigas neotropicales. En F. Fernández. *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* (pp. 65-85). Bogotá Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Lenoir, L. (2009). Effect of ants on plant diversity in semi-natural grassland. *Artropod-Plant Interactions*.
- LGVS. (2007). Ley general de vida Silvestre, Última reforma publicada DOF 01-02-2007. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios, Centro de Documentación, Información y Análisis
- Lighton, J.R.B. & D. Berrigan (1995). "Questioning paradigms: caste-specific ventilation in harvester ants, *Messor pergandei* and *M. julianus* (Hymenoptera: Formicidae)." *J. Exp. Biol.* 198: pp. 521-530.
- Lloret, F. (2004). Régimen de incendios y regeneración. En: Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un bosque cambiante. Ministerio de medio ambiente EGRAF, S.A. Madrid, pp. 101-126.
- Lobry de Bruyn, L.A. & A.J. Conacher (1990). The role of termites and ants in soil modification: a review. *Aust. J. Soil Res.* 28, pp. 55-93.
- Lozano-Zambrano, F.H., P. Ulloa-Chacón & I. Armbrrecht (2009). Hormigas: Relaciones especies-áreas en fragmentos de Bosque seco tropical. *Neotropical Entomology* 38 (1): pp. 044-054.
- Mackay, W.P., E. Mackay, J.F. Pérez Domínguez, L.I. Valdez Sánchez & P.V. Orozco (1985). Las hormigas del estado de Chihuahua México: El género *Pogonomyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). *Socol.* 11 No. 1, pp. 39-54.
- Mackay, W.P. (2000). A review of the New World ants of the subgenus *Myrafant*, (genus *Leptothorax*) (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 36, pp. 265–444.
- Mackay, W.P. & E. Mackay (2002). The ants of New Mexico (Hymenoptera: Formicidae). Edwin Mellen Press, Lewiston, New York, 400 pp.
- Majer J.D. (1983) Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use and land conservation. *Env. Manag.* 7, pp. 375-383.
- Mares, M.A. & M.L. Rosenzweig (1978). Granivory in North and South American deserts: Rodents, birds, and ants. *Ecology*, Vol. 59, No. 2, pp. 235-241.

- Mayr, G. (1868). Formicidae novae Americanae collectae a Prof. P. de Strobel. *Annuario della Società dei Naturalisti e Matematici, Modena*, 3, pp. 161–178.
- Mayrs, N., R.A. Mittermeier, G.C. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca & J. Kents (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: pp. 853-858.
- McIntyre, N.E. (2000). Ecology of urban arthropods: A review and call to action. *Ecology and population biology*, Vol. 93, No. 4, pp. 825-835.
- Mellink, E. (2002). El límite sur de la región mediterránea de Baja California, con base en sus tetrápodos endémicos. *Acta Zoológica Mexicana* 85: 11-23.
- Minnich R.A., & E. Franco-Vizcaíno (1998). Land of Chamise and Pines: historical accounts and current status of northern Baja California's vegetation. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, CA.
- Minnich, R.A. & E.F. Vizcaíno (1999). La vegetación mediterránea de Baja California. *Fremontia* pp. 4-15.
- Montenegro, G., R. Ginocchio, A. Segura, J.E. Keely & M. Gómez, (2004). Fire regimes and vegetation responses in two mediterranean-climate regions. *Revista Chilena de historia natural*, 77: pp. 455-464.
- Morrison, M.L., B.G. Marcot & R.W. Mannan (2006). Wildlife-habitat relationship, Concepts and applications. The university of Wisconsin press. 494 pp.
- Ojeda-Revah L, G. Bocco, E. Ezcurra & I. Espejel (2008). Land-cover/use transitions in the binational Tijuana river watershed during a period of rapid industrialization. *Appl Veg Sci* 11:107–116.
- O'Leary J.F. (1995). Coastal sage scrub: threats and current status. *Fremontia* 23:27–31.
- Palacio, E.E. & F. Fernández (2003). Clave para las subfamilias y géneros Cap. 15. En F. Fernández. *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* (pp. 233-260). Bogotá Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Peinado, M., F. Alcaraz, J.L. Aguirre, J. Delgadillo, & I. Aguado. (1995). Shrubland formations and associations in medi-terranean-desert transitional zones of northwestern Baja California. *Vegetatio* 117: pp. 165-179.
- Perfecto, I. & J. Vandermeer (2002). Quality of agro ecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern México. *Conservation Biology*, pp. 174-182.
- Petal, J. (1992). The role of ants in nutrient cycling in forest ecosystems. En *Biology and evolution of social insects* (J. Billen, ed.). Leuven: University press. pp. 167-170.
- Peterson, A.T. & Y. Nakazawa (2008). Environmental data sets matter in ecological niche modeling: an example with *Solenopsis invicta* and *Solenopsis richteri*. *Global Ecology and Biogeography*, 17. Pp 135-144.
- Pickett, S.T.A., G. Kolasa & C.G. Jones (1994). *Ecological Understanding: the Nature of Theory and the Theory of Nature*. Academic Press, New York.
- Pilpott, S.M. & I. Armbrrecht (2006). Biodiversity in tropical agroforests and ecological role of ants and diversity in predatory function. *Ecological entomology* 31: pp. 369-377.
- Piñera-Ramírez, D. (2006). Los orígenes de las poblaciones de Baja California. Factores externos, nacionales y locales. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, BC.
- Poulsen, M., A.N.M. Bot, M.G. Nielsen & J.J. Boomsma (2002). Experimental evidence for the cost and hygienic significance of the antibiotic metapleural gland secretion in leaf-cutting ants. *Behav. Ecol Sociobiol* 52: pp. 151-157.
- Quiroz-Robledo, L.N. & J. Valenzuela-González (2006). Las hormigas Ecitoninae (Hymenoptera: Formicidae) de Morelos, México. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 54 (2), pp. 531-552.
- Retana, J. & X. Cerdá (2000). Patterns of diversity and composition of Mediterranean ground ant communities tracking spatial and temporal variability in the thermal environment. *Oecologia* 123. Pp. 436-444.

- Rico-Gray, V., J.G. García–Franco, M. Palacios-Ríos, C. Díaz-Castelazo, V. Parra-Tabla & J.A. Navarro (1998). Geographical and seasonal variation in the richness of ant-plant interactions in México. *Biotropica*, Vol 30. No. 2, pp. 190-200.
- Ríos Casanova, L., A. Valiente Banuet & V. Rico gray (2004). Las hormigas del valle de Tehuacán (Hymenoptera: Formicidae): Una comparación con otras zonas áridas de México. *Acta zoo. Mex. (nueva serie)* vol. 20 No. 001, pp. 37-54.
- Rojas-Fernández, P. (2001). Las hormigas del suelo de México: Diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana*, (1): pp. 189-238.
- Rosenberg, D.M., H.V. Hanks & D.M. Lehmkuhl (1986). Importance of insects in environmental impact assessment. *Environmental Management* 10: pp. 773-783.
- Rowles, A.D. & D.J. O'Dowd. Interference competition by Argentine ants displaces native ants: implications for biotic resistance to invasion. *Biol Invasions* 9: pp. 73-85.
- Samways, M.J. (2005). *Insect diversity conservation*. Cambridge University Press. New York. 342 pp.
- Sanders, N.J. (2002). Elevational gradients in ant species richness: area, geometry, and Rapapor's rule. *Ecography* 25: pp. 25-32.
- Sanford, M.P., P.N. Manley & D.D. Murphy (2008). Effects of urban development on ant communities: Implications for ecosystem services and management. *Conservation biology* 23 Vol 1, pp. 131-141.
- Schooley, R.L. & B.T. Bestelmeyer & J.F. Kelly (2000). Influence of small-scale disturbances by kangaroo rats on Chihuahuan desert ants. *Oecologia* 125: pp. 142-149.
- Schultz, T.R. & T.P. McGlynn (2000). The interactions of ants with other organisms. In: D. Agosti., J.D. Majer, Alonso, L.E. & Schultz, T.R. (eds). *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington and London. pp. 35-44.
- Silvestre, R., C.R.F. Brandão & R.R. da Silva (2003). Grupos funcionales de hormigas: el caso de los gremios del cerrado. En F. Fernández. *Introducción a las Hormigas de la*

- Región Neotropical (pp. 113-148). Bogotá Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Snelling, R.R. (1973). "Studies on California ants. 7. The genus *Stenamma* (Hymenoptera: Formicidae)." *Contr. Sci. (Los Angel.)* pp. 245: 1-38.
- Snelling, R.R. (1981). "The taxonomy and distribution of some North American *Pogonomyrmex* and descriptions of two new species (Hymenoptera: Formicidae)." *Bull. South. Calif. Acad. Sci.* 80: pp. 97-112.
- Snelling, R.R. (1995). Systematics of nearctic ants of the genus *Dorymyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). *Contributions in Science, (Los Angeles)*, 454, pp. 1–14.
- Snelling, G.C. & R.R. Snelling (2007). New synonymy, new species, new keys to *Neivamyrmex* army ants of the United States, pp. 459-550. In: Snelling, R.R., Fisher, B.L. y Ward, P.S. (Eds.): *Advances in ant systematics (Hymenoptera: Formicidae): hom-age to E.O. Wilson. 50 years of contributions. Memoirs of the American Entomological Institute* 80: pp. 459-550.
- Stadler, B., & A.F.G. Dixon (2005). Ecology and evolution of aphid-ant interactions. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36: pp. 345-372.
- Suarez, A.V., D.T. Bolger & T.J. Case (1998). The effects of fragmentation and invasion on the native ant community in coastal southern California. *Ecology* 79: pp. 2041–2056.
- Tevis, L. Jr. (1958). Germination and growth of ephemerals induced by sprinkling a sany desert. *Ecology* Vol. 39, pp. 681-688.
- Thompson, C.R. & C. Johnson (1989). Scientific notes, Rediscovered species and revised key to the Florida thief ants (Hymenoptera: Formicidae) *Florida Entomologist*. Vol 72 (4), pp. 697-698.
- Trager, J.C. (1991). A revision of the fire ants, *Solenopsis geminata* group (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). *Journal of the New York Entomological Society*, 99, pp. 141–198.

- Tsutsui, N.D., A.V. Suárez, D.A. Holway & J. Case (2001). Relationships among native and introduced populations of the Argentine ant (*Linepithema humile*) and the source of introduced populations. *Molecular Ecology* 10, pp. 2151–2161.
- Vasconcelos, H.L., M.F. Leite, J.M.S. Vilhena, A.P. Lima & W.E. Magnusson (2008). Ant diversity in an Amazonian savanna: Relationship with vegetation structure, disturbance by fire, and dominant ants. *Austral Ecology*, Vol. 33. Pp. 221-231.
- Vitousek PM, H.A. Mooney, J. Lubchenco & J.M. Melillo (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: pp. 494-499.
- Wagner, D., J.B. Jones & D.M. Gordon (2004). Development of harvester ant colonies alters soil chemistry. *Soil biology & biochemistry* 36, pp. 797-804.
- Wang, C., J.S. Strazanac & L. Butler (2001). Association between ants (Hymenoptera: Formicidae) and habitat characteristics in Oak-Dominated Mixed Forests. *Environ. Entomol.* 30(5): pp. 842-848.
- Ward, P.S. (1985). The Nearctic species of the genus *Pseudomyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). *Quaestiones Entomologicae*, 21, pp. 209–246.
- Ward, P.S. (1987). Distribution of the introduced Argentine ant (*Iridomyrmex humilis*) in natural habitats of the lower Sacramento Valley and its effects on the indigenous ant fauna. *Hilgardia*, 55(2), pp. 1–16.
- Ward, P.S. (1993). Systematic studies on *Pseudomyrmex* acacia ants (Hymenoptera: Formicidae: Pseudomyrmecinae). *Journal of Hymenoptera Research* 2: pp.117-168.
- Ward, P.S. (2000). "On the identity of *Pheidole vaslitii* Pergande (Hymenoptera: Formicidae) a neglected ant from Baja California." *Journal of Hymenoptera Research* 9: 85-98.
- Ward, P.S. (2005). A synoptic review of the ants of California (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa* 936, pp. 1-68.
- Watkins II, J.F. (1982). The army ants of México (Hymenoptera: Formicidae: Ecitoninae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 55 (2), pp. 197-247.

- Westman, W.E. (1981). Diversity relations and succession in California coastal sage scrub. *Ecology* 62: pp. 439-455.
- Westman, W.E. (1983). Xeric Mediterranean-type shrubland associations of Alta and Baja California and the community/continuum debate. *Plant Ecology* 52: 3-19
- Wheeler, G.C. & J. Wheeler (1986). The ants of Nevada. Natural History Museum de Los Angeles County, Los Angeles, vii. 138 pp.
- Williams, D.F. (1994). Exotic ants. Biology, impact, and control of introduced species. West view Press Boulder-San Francisco-Oxford, 332 pp.

10. ANEXOS

Anexo 1. Lista de especies registradas en la periferia de la ciudad de Ensenada y su distribución en otras regiones. BC: Estado de Baja California, BCS: Estado de Baja California Sur, CA: California, AZ: Arizona, Son: Sonora (Johnson y Ward 2002); Chi: Chihuahua y Teh: Tehuacán (Ríos Casanova, *et al.*, 2004). (*) nuevos registros, Únicamente *L. humile* fue registrada como especie introducida para la península de Baja California. Gremios alimenticios: Generalistas (G), nectarívoras (N), depredadoras (D), granívoras (Gr), y cosechadoras (C).

ESPECIES	BC	BCS	CA	AZ	Son	Chi	Teh
Dolichoderinae							
<i>Dorymyrmex bicolor</i> (G)	x	x	x	x	x		
<i>Dorymyrmex insanus</i> (G)	x	x	x	x	x	x	x
<i>Forelius mccooki</i> (N)	x	x	x	x	x		x
<i>Forelius pruinosus</i> (N)	x	x	x	x	x		
<i>Linepithema humile</i> (G)	x		x	x			
<i>Tapinoma sessile</i> (N)	x		x	x			
Ecitoninae							
<i>Neivamyrmex nigrescens</i> (D)	x		x				
Formicinae							
<i>*Brachymyrmex</i> sp. 1 nd. (G)							
<i>Camponotus clarithorax</i> (G)	x	x	x				
<i>Camponotus dumetorum</i> (G)	x		x				
<i>Camponotus hyatti</i> (G)	x	x	x	x			
<i>Camponotus festinatus</i> (G)	x	x	x	x	x		x
<i>Camponotus semitestaceus</i> (G)	x		x	x			
<i>Camponotus vicinus</i> (G)	x		x	x			
<i>Camponotus</i> sp. BCA-2 (G)	x		x				
<i>Camponotus</i> sp. BCA-3 (G)	x		x				
<i>Formica francoeuri</i> (G)	x		x				

<i>Formica moki</i> (G)	x		x	x		
<i>Myrmecocystus mimicus</i> (N)	x	x	x	x	x	
<i>Myrmecocystus testaceus</i> (N)	x		x			
<i>Myrmecocystus wheeleri</i> (N)	x		x			
Myrmicinae						
<i>Crematogaster californica</i> (N)	x	x	x	x	x	
<i>Messor andrei</i> (C)	x		x			
<i>Messor stoddardi</i> (C)	x		x			
<i>Monomorium ergatogyna</i> (N)	x	x	x	x	x	
<i>Pheidole californica</i> (G)	x		x			
<i>Pheidole clementensis</i> (G)	x		x			
<i>Pheidole hyatti</i> (G)	x	x	x	x	x	x
<i>Pheidole pacifica</i> (G)	x		x			
<i>Pheidole vistana</i> (G)	x	x	x	x	x	
<i>Pogonomyrmex californicus</i> (Gr)	x	x	x	x	x	
<i>Pogonomyrmex montanus</i> (Gr)	x		x			
<i>Solenopsis amblychila</i> (G)	x	x	x	x	x	
<i>Solenopsis molesta</i> (G)	x	x	x	x	x	
* <i>Solenopsis trunctorum</i> (G)						
<i>Solenopsis xyloni</i> (G)	x	x	x	x	x	x
<i>Temnothorax andrei</i> (G)	x	x	x	x		
* <i>Temnothorax</i> sp.1 nd. (G)						
<i>Temnothorax</i> sp. BCA-9 (G)	x	x	x			
Pseudomyrmecinae						
<i>Pseudomyrmex apache</i> (N)	x	x	x	x	x	

11. FIGURAS

Figura 1. Área de estudio: matorral costero (en gris) circundante a la ciudad de Ensenada (en negro). Los sitios de estudio se muestran en círculos blancos.

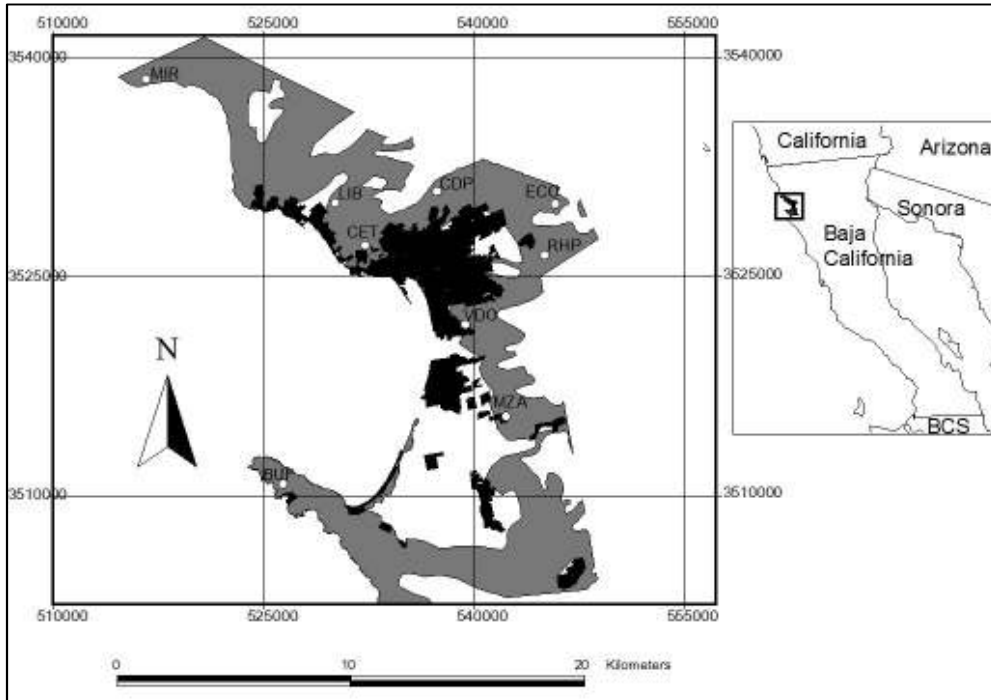


Figura 2. Ejemplo de las dos áreas (área de muestreo: núcleo y Buffer o área externa) establecidas en cada sitio de estudio, el área interna corresponde a un radio de 120m (4.5 ha) y el exterior a 80m (8 ha) con un área total de 12.5 hectáreas.

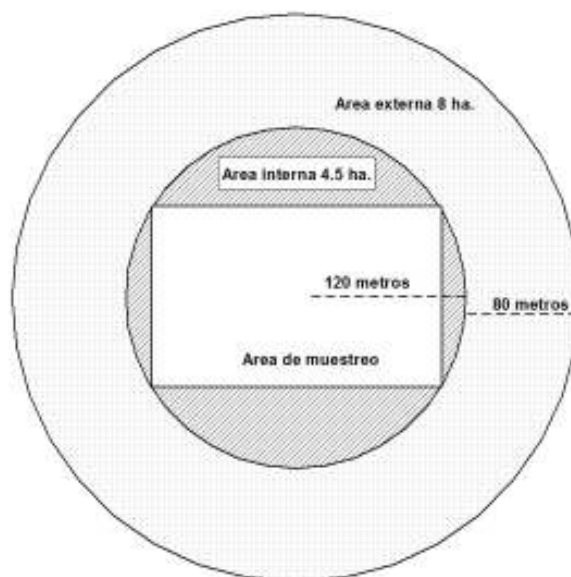


Figura 3. Esquema del procedimiento seguido para obtener los porcentajes de cobertura, pendiente y orientación, además de la actitud promedio de cada uno de los nueve sitios.

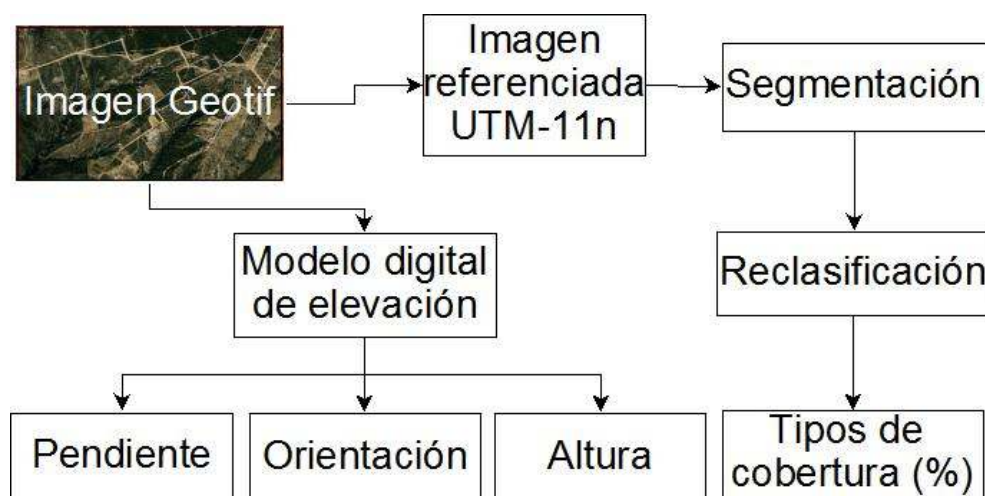


Figura 4. Distribución de especies de hormigas en subfamilias: península de Baja California (PBC, 176 especies; Johnson y Ward 2002) y matorral costero circundante a la ciudad de Ensenada (ENS, 40 especies). Subfamilias:MYR: Myrmicinae, FOR: Formicinae, DOL: Dolichoderinae, ECI: Ecitoninae, PON: Ponerinae, PSE: Pseudomyrmecinae, y CER: Cerapachyinae.

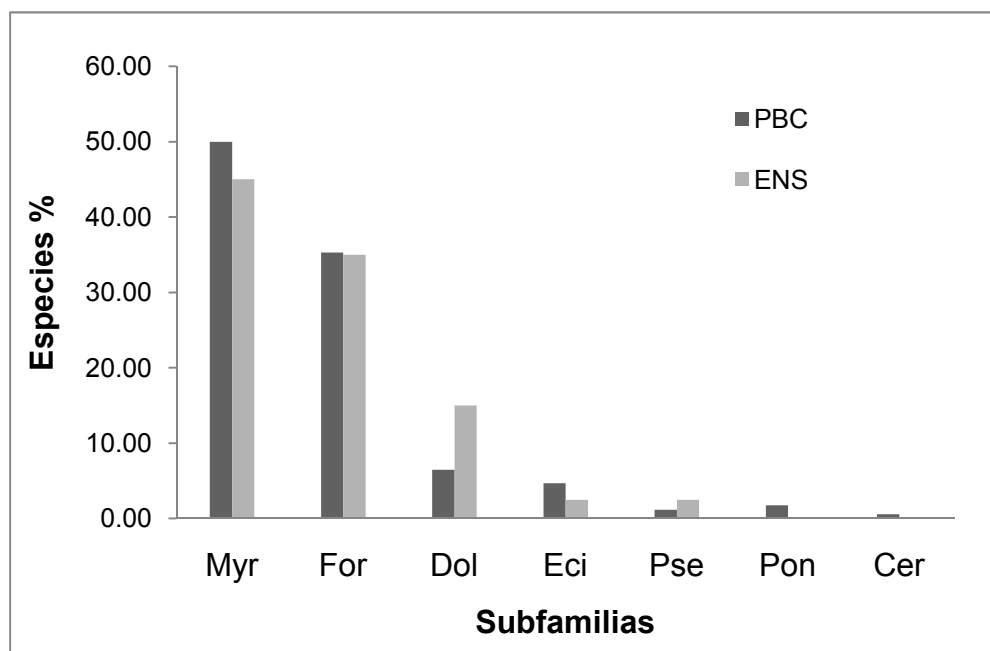


Figura 5. Frecuencia de distribución de las 40 especies en los 9 sitios de estudio.

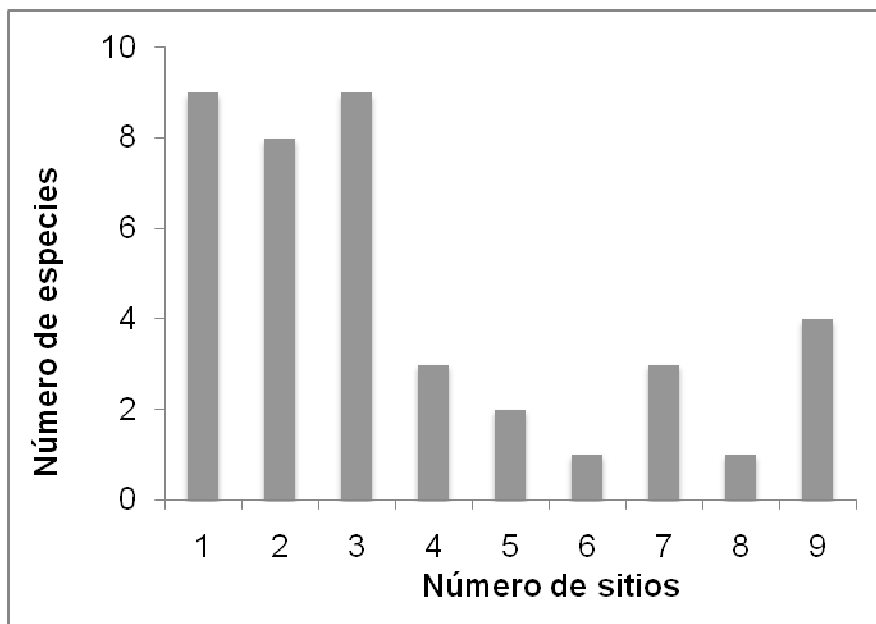
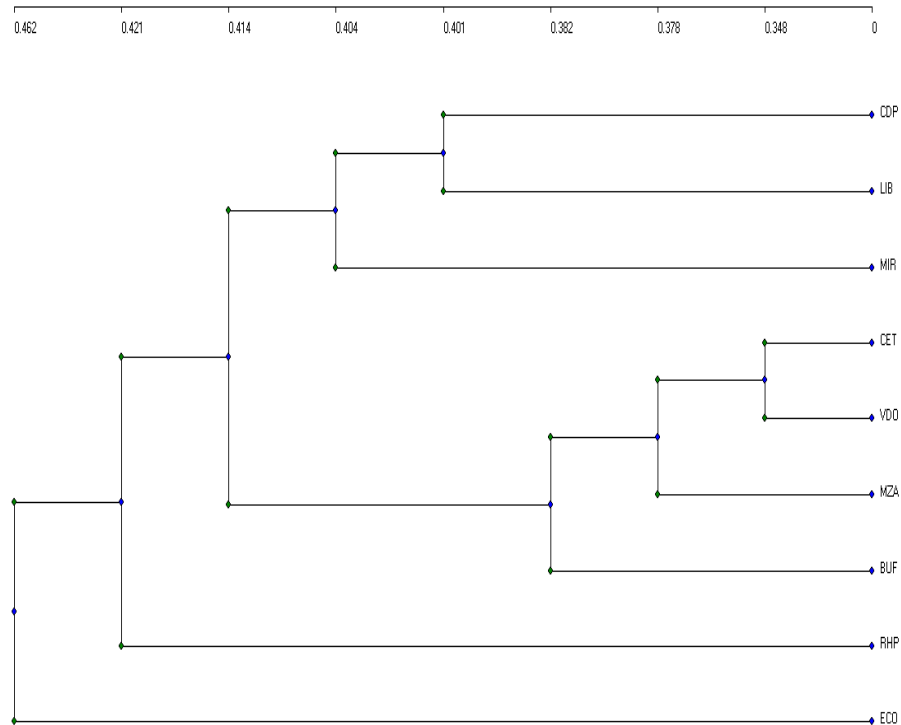


Figura 6. Análisis de similitud de los sitios (distancias Euclidianas).



12. TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los sitios de muestreo distribuidos a lo largo del matorral costero periurbano de la ciudad de Ensenada.

Sitios	LAT	LONG
Cañón de Doña Petra	31° 54.752'	116° 36.372'
Cerro CETYS	31° 52.754'	116° 39.484'
Centro de reciclaje ECOTERRA	31° 54.289'	116° 30.938'
La Bufadora	31° 43.917'	116° 43.082'
Nueva carretera Libramiento	31° 54.344'	116° 40.770'
Mirador de Ensenada	31° 58.938'	116° 49.033'
Maneadero zona agricola	31° 46.411'	116° 33.392'
Rancho Horse Power	31° 52.386'	116° 31.691'
Cerro de Valle Dorado	31° 49.830'	116° 35.119'

Tabla 2. Caracterización de las variables para la riqueza de especies de los nueve sitios. Cañón de Doña Petra (CDP), Lomita del CETYS (CET), centro de reciclaje Ecoterra (ECO), la Bufadora (BUF), el Libramiento vehicular (LIB), Villas Maneadero zona agrícola (MZA), El Mirador de Ensenada (MIR), Rancho Horse (RHP) y Cerro de Valle Dorado. Orientación (Ori). Vegetación arbustiva (A), herbacea (H) y sin cobertura (S). pendientes expresadas en grados (°). Elevación en metros sobre el nivel del mar (E).

Variables consideradas en el área núcleo											
Sitios	No. Esp.	Ori	Suelo	%A	%H	%S	%0-10°	%11-20°	%21-30°	%>31°	En (msnm)
CDP	20	E	Ar	19.2	60.9	19.8	33.8	66.2	0.0	0.0	143
CET	8	O	Ro	1.3	79.1	19.6	9.2	51.8	39.0	0.0	196
ECO	20	S	Ar	8.2	58.5	33.3	86.9	13.1	0.0	0.0	338
BUF	17	S	Co	1.7	72.7	25.6	55.6	38.4	6.0	0.0	102
LIB	15	E	Ar	29.8	51.2	19.0	68.3	31.7	0.0	0.0	52
MZA	13	S	Co	6.8	93.2	0.0	13.0	76.1	10.9	0.0	41
MIR	15	N	Ro	1.1	72.1	26.8	56.0	20.3	12.8	10.9	142
RHP	22	S	Ar	4.6	61.4	34.0	80.0	19.7	0.3	0.0	273
VDO	15	O	Ro	7.1	92.9	0.0	39.7	55.9	4.3	0.0	117

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza de los datos de conteos de individuos x especie x sitio.

Fuente de var.	Número de individuos x especie x sitio			
	SC	GL	CM	F
Sitios	11997	8	1499.65	14.088***
Especies	47181	39	1209.77	11.365***
Error	33212	312	106.45	

Tabla 4. Analisis de regresión logística entre la riqueza de especies y los factores de las variables expresados en categorías.

	Área núcleo (interno)				Buffer externo			
	Coef	Coef. EE	Z	P	Coef	Coef. EE	Z	P
Cobertura	51.46	156899	0	0.999	61.92	2904.75	0.02	0.983
Pendiente	-182.96	156399	0	0.999	377.32	16067.5	0.02	0.981
Orientación	187.59	15562.1	0.01	0.99	30.17	1622.91	0.02	0.985
Altitud	-137.64	9417.61	-0.01	0.988	-50.05	3533.52	-0.01	0.989
Suelo	-84.60	10397.2	-0.01	0.994	135.71	5745.57	0.02	0.981

Tabla 5. Modelos lineales generalizados para el análisis de las variables que explican la riqueza de especies en los sitios. Cobertura (Cob), pendiente (Pen), orientación (Ori), altitud (Alt), suelo (Sue). Grado de significancia (*- ** significativo, *** muy significativo).

Factores	Área núcleo (interno)					Buffer externo				
	F	GI	Interacción	GI	F	F	GL	Interacción	GI	F
Cob	3.39	2,5	Cob-Pen	3,5	3.40	2.09	2,4	Cob-Pen	4,4	1.6
Pen	3.42	1,5				2.21	1,4			
Cob	1.77	2,2	Cob-Ori	6,2	4.59	6.33	2,2	Cob-Ori	6,2	2.1
Ori	0.62	3,2				4.17	3,2			
Cob	2.16	2,3	Cob-Alt	5,3	1.30	17.54	2,2	Cob-Alt	6,2	14.22
Alt	1.12	2,3				2.47	2,2			
Cob	4.47	2,4	Cob-Sue	5,3	3.12	1.63	2,3	Cob-Sue	5,3	1.02
Sue	3.55	2,4				0.54	2,3			
Pen	9.03	2,2	Pen-Ori	6,2	4.59	6.03	1,3	Pen-Ori	5,3	1.65
Ori	0.68	3,2				0.45	3,3			
Pen	9.41	2,3	Pen-Alt	5,3	5.56	21.36**	1,4	Pen-Alt	3,5	6.07*
Alt	4.06	2,3				1.07	2,4			
Pen	7.61*	2,5	Pen-Sue	4,4	4.73	26.07***	1,5	Pen-Sue	5,3	15.28**
Sue	4.69	1,5				8.81*	2,5			
Ori	1.21	3,2	Ori-Alt	6,2	1.09	0.35	3,3	Ori-Alt	5,3	0.34
Alt	1.44	2,2				0.33	2,3			
Ori	3.04	3,3	Ori-Sue	5,3	3.69	1.1	3,3	Ori-Sue	7,1	40.01***
Sue	4.65	2,3				4.34	2,3			
Alt	23.67***	2,4	Alt-Sue	5,3	21.33***	1.18	2,3	Alt-Sue	5,3	5.56
Sue	36.26***	2,4				10.23*	2,3			