

# EFECTO DE UNA ESPECIE INVASORA, *LINEPITHEMA HUMILE*, LA HORMIGA ARGENTINA, SOBRE LA BIODIVERSIDAD DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA (HUELVA): DESCRIPCIÓN DE LAS INTERACCIONES CON LAS HORMIGAS NATIVAS

ELENA ANGULO<sup>1</sup>, RAPHAËL BOULAY<sup>2</sup>, ANSELM RODRIGO<sup>3</sup>,  
JAVIER RETANA<sup>3</sup> Y XIM CERDÁ<sup>2,4</sup>

## RESUMEN

Algunas de las comunidades de hormigas del Parque Nacional de Doñana (Huelva) se ven alteradas por la invasión de la hormiga argentina, *Linepithema humile*. Mediante muestreos con trampas de suelo y con cebos en los diferentes tipos de hábitat de la Reserva Biológica de Doñana (dunas, corrales, sabinar, pinar, monte blanco, monte negro, construcciones humanas) hemos observado que la presencia de la hormiga argentina está limitada a las construcciones humanas y, en forma mucho menor, a los alcornoques y pinares también asociados a la presencia humana. La hormiga endémica de Doñana, *Cataglyphis floricola*, muestra una marcada preferencia por el monte blanco, pero también se puede encontrar con bastante abundancia en las zonas humanizadas, siendo la única especie capaz de estar presente cuando lo está la hormiga argentina. Ambas especies tienen muy diferentes preferencias térmicas para desarrollar su actividad de búsqueda de alimento. La segregación en los patrones diarios de actividad entre la hormiga florícola y la hormiga argentina hace que los encuentros entre ambas sean raros. Cuando se producen, la hormiga argentina ataca a las obreras de florícola, pero éstas detienen su actividad de forrajeo y cierran con arena la entrada de su hormiguero, impidiendo la entrada de la hormiga argentina. Dada la rareza de estos encuentros, no parece que la hormiga argentina suponga una amenaza para las poblaciones de la florícola, pero sí lo es para el ecosistema, pues provoca una importante reducción de la biodiversidad y la desaparición de las especies dominantes locales. Por ello, se hace necesario un seguimiento continuo de la presencia y abundancia de la hormiga argentina en Doñana.

**Palabras clave:** invasiones biológicas, hormiga argentina, *Linepithema humile*, competencia, *Cataglyphis floricola*, Doñana, comunidades mediterráneas

## SUMMARY

The invasion of the Argentine ant, *Linepithema humile*, may disturb ant communities at Doñana National Park (Huelva province, SW Spain). Pitfall trap and bait sampling was performed in different

<sup>1</sup> Laboratoire d'Ecologie, Systématique & Evolution (UMR CNRS 8079), Bâtiment 362, Université Paris Sud, 91405 Orsay Cedex, Francia. e-mail: elena.angulo@u-psud.fr

<sup>2</sup> Departamento de Ecología del Comportamiento, Estación Biológica de Doñana (CSIC), Avda. María Luisa, s/n, Pabellón del Perú, 41013 Sevilla. e-mail: boulay@ebd.csic.es, xim@ebd.csic.es

<sup>3</sup> CREAF i Unitat d'Ecologia, Facultat de Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra. e-mail: Anselm.Rodrigo@uab.es, Javier.Retana@uab.es

<sup>4</sup> Autor para la correspondencia; Tel: (34) 954232340; Fax: (34) 954621125; e-mail: xim@ebd.csic.es

habitats (dunes, “corrales”, Savin Juniper forest, Pine tree forest, “monte blanco” dry shrubland, “monte negro” wet shrubland, and human settlements). Argentine ant presence is linked to human settlements and, with a low frequency, to cork oak trees and Pine tree forests submitted to human influence. Doñana’s endemic ant species, *Cataglyphis floricola*, shows a preference by the “monte blanco” dry shrubland, but it is also very abundant close to human settlements, being the only ant species able to share the habitat with the Argentine ant. Both, endemic and invasive species, have very different thermal requirements. Daily foraging activity patterns of both species are completely segregated and encounters between workers are rare events. But when they meet, Argentine ant workers attack *C. floricola* workers. In this case, *C. floricola* workers stop foraging activity, come back to the nest and close the entry with sand, preventing that Argentine ant workers invade the colony. Because these encounters are infrequent, it seems that Argentine ant is not a threat for the conservation of *C. floricola* populations. However, Argentine ant clearly affects the rest of the ecosystem because it provokes a high biodiversity loss and the disappearance of ant dominant species. A continuous and long-term survey of Argentine ant presence and abundance is needed to guarantee the conservation of Doñana ant communities.

**Key-words:** biological invasions, Argentine ant, *Linepithema humile*, competition, *Cataglyphis floricola*, Doñana, Mediterranean communities

## INTRODUCCIÓN

### Las hormigas invasoras

Las invasiones biológicas han alterado profundamente los ecosistemas, y sus efectos pueden rivalizar con los causados por la pérdida de hábitat y los del cambio climático global (GOTELLI & ARNETT 2000). La introducción de especies exóticas de hormigas ha sido responsable de la disminución de la diversidad y abundancia de las especies nativas de hormigas y también de otros artrópodos por todo el mundo. De las 147 especies de hormigas que se distribuyen fuera de sus regiones nativas, sólo algunas han conseguido convertirse con éxito en invasoras; pero a pesar de su bajo número es de destacar su amplio rango de impactos, desde la eliminación de hormigas nativas, la disminución de las poblaciones de insectos o vertebrados, o la alteración en la polinización de flores o en la dispersión de las semillas (UNDERWOOD & FISHER 2006; GÓMEZ *et al.* 2003; BLANCAFORT & GÓMEZ 2005). Por ejemplo, la introducción y expansión en el sur de los EEUU de la hormiga roja de fuego, *Solenopsis invicta*, ha influido drásticamente sobre la biodiversidad de invertebrados, así, en una estación de campo de Texas la abundancia de las hormigas nativas se redujo en un 90% por su causa; y también la diversidad de

los otros artrópodos disminuyó en un 35% (PORTER & SAVIGNANO 1990). Pero los efectos de la hormiga roja de fuego sobre las comunidades de hormigas no se reducen a disminuir la densidad de otras especies a una escala local, sino que también alteran los patrones de competencia y co-ocurrencia de las especies supervivientes a una escala biogeográfica (GOTELLI & ARNETT 2000). La introducción de *Pheidole megacephala* en Bermuda, Madeira, Hawaii o Australia también está asociada con una severa reducción de la diversidad de hormigas y otros artrópodos (HASKINS & HASKINS 1988; LIEBERBERG & KRANZ 1975; VANDERWOUDE *et al.* 2000).

La hormiga argentina, *Linepithema humile*, se ha convertido en una plaga mundial invadiendo, en palabras de STRAUSS (1998), las cocinas desde San Francisco a Johannesburgo. Esta especie supone un verdadero problema ecológico por la reducción de la diversidad que su presencia conlleva (HOLWAY 2005, HOLWAY & SUÁREZ 2006). La sustitución de gremios completos de hormigas nativas por una única especie introducida genera una gran variedad de efectos, porque las hormigas son importantes componentes de la mayoría de los ecosistemas. En el fynbos sudafricano, hay plantas que requieren a las hormigas granívoras nativas

para dispersar sus semillas, y la aparición de la hormiga argentina implica la desaparición de estas granívoras y la interrupción del mutualismo árbol-hormiga (BOND & SLINGSBY 1984; CHRISTIAN 2001); un resultado muy similar ha sido obtenido con la planta *Rhamnus alaternus* en una comunidad catalana, donde la presencia de la hormiga argentina reduce la tasa de dispersión de la semillas de esta especie (GÓMEZ *et al.* 2003). En las islas Hawaii y en California, la ausencia de hormigas nativas y presencia de hormiga argentina ha resultado en un declive de los otros taxa de artrópodos (COLE *et al.* 1992; BOLGER *et al.* 2000). Y también la aparición de la hormiga argentina puede influir en la reducción en las poblaciones de vertebrados, como ha ocurrido con las del lagarto cornudo en California, que se alimenta principalmente de hormigas granívoras (SUÁREZ *et al.* 2000). Asimismo, la hormiga argentina causa importantes daños (indirectos) en los cultivos, porque a menudo se alimentan de la melaza producida por diferentes homópteros (cócidos, áfidos, etc) que son especies-plaga perjudiciales para los cultivos agrícolas. Para alimentarse de la melaza de dichos insectos los protegen de los enemigos, interfiriendo en su control biológico (en viñedos y cultivos de cítricos interfieren agresivamente sobre los parásitos y depredadores que se utilizan en la lucha biológica), favoreciendo el incremento de sus poblaciones y de los daños subsiguientes (PHILLIPS *et al.* 1987, PHILLIPS & SHERK 1991).

En las comunidades naturales de donde es originaria (America del Sur), la hormiga argentina no es capaz de dominar en la comunidad, sino que siempre coexiste con otras especies nativas (SUÁREZ *et al.* 1999). Sin embargo, es una especie fácilmente invasora. Ello se debe a que por un lado, las reinas necesitan muy pocas obreras para establecer un nido con éxito, los propágulos con un número tan bajo como 10 obreras pueden crecer rápidamente, así que no sorprende la facilidad con la que estas hormigas se dispersan como resultado del comercio y del tráfico humano (HEE *et al.* 2000). Por otro lado, el gran tamaño que alcanzan sus colonias, la agresividad de sus obreras, la poliginia (muchas reinas por colonia), la reproducción de las colonias por gemación y, sobre todo, la unicolonialidad (ver

más abajo), le permite ser ecológicamente dominante allá donde llega. Por lo tanto, en los lugares en los que es una hormiga invasora, la hormiga argentina vive en estrecha asociación con el hombre, que es responsable de su expansión y establecimiento.

### Características biológicas de la hormiga argentina

Las obreras de la hormiga argentina, *Linepithema humile* (antiguamente denominada *Iridomyrmex humilis*), son de pequeño tamaño, miden entre 2.2 y 2.8 mm y son de color marrón. Cuando el abdomen está distendido, porque almacena líquido, parece tener color de miel. Las reinas miden entre 4 y 6 mm.

Las sociedades de la hormiga argentina son poligínicas (con muchas reinas por colonia). Las colonias se reproducen por gemación o fisión colonial: cuando llega el momento, una parte de la colonia (obreras y alguna o algunas reinas) se marcha e instala en otro lugar, en un nuevo nido. Fuera de su lugar de origen, en los lugares en los que invade, las obreras se mueven entre los distintos nidos manteniendo la comunicación entre ellos y con la colonia de origen. Este fenómeno se ha denominado "unicolonialidad", porque aunque son muchas colonias diferentes, las obreras se comportan como si pertenecieran a una única colonia. La unicolonialidad permite unas elevadas densidades de obreras (al tener muchas reinas, la colonia puede producir más descendencia, y el tamaño de la sociedad puede llegar a ser mucho mayor) así como la dominancia ecológica de los hábitats invadidos (al no pelearse entre ellas, disminuyen los costes). La unicolonialidad parece ser producida por la escasa diversidad genética de las poblaciones invasoras (no se da en las poblaciones originales, en Argentina). En un estudio reciente realizado por GIRAUD *et al.* (2002), recogieron obreras de 33 poblaciones del litoral mediterráneo (desde el norte de Italia hasta Cádiz) y atlántico (desde Cádiz hasta Galicia). En el laboratorio, estos autores observaron que la mayoría de las obreras no se peleaban entre ellas. Sólo encontraron tres poblaciones ("catalanas", por su situación geográfica) cuyas hormigas sí se pelea-

ban con las de las otras poblaciones. Esto sucede porque, aún siendo la misma especie, las “catalanas” son genéticamente diferentes. Probablemente las poblaciones catalanas están genéticamente más próximas a las poblaciones originariamente introducidas en la Península Ibérica. La hormiga argentina entró en España por dos puertos de mar: Valencia y Barcelona; es posible que este origen separado también diferencie a las poblaciones “catalanas”. Aunque a Portugal llegó entre 1890 y 1894, su presencia en España no se detectó por primera vez hasta 1923, en Valencia.

La hormiga argentina es una especie omnívora que se alimenta tanto de insectos (cadáveres principalmente) como de alimento líquido (melaza de pulgones y, ocasionalmente, néctar de flores). Para la recolección del alimento, la hormiga argentina ha desarrollado excelentes mecanismos de comunicación química: cuando alguna obrera encuentra alimento “avisa” a sus compañeras (hace un reclutamiento en masa) y forman una pista hasta la fuente de alimento. Las pistas también se forman como vías de intercambio de obreras entre los distintos nidos de la colonia. Y el reclutamiento en masa de obreras también es muy eficaz frente a enemigos o competidores, lo que junto con su elevada agresividad individual las hace casi invencibles.

### **Relaciones de competencia en las comunidades de hormigas mediterráneas**

La estructura de las comunidades naturales está regulada por numerosos factores. Pero fundamentalmente, las especies de una comunidad se hallan encerradas en una compleja red de interacciones de competencia, tanto fuertes como débiles. Incluso cuando las interacciones son relativamente fuertes, constituyendo una comunidad relativamente estable, ello no evita que una nueva especie pueda introducirse con éxito. Las relaciones de competencia entre especies pueden verse modificadas o reguladas por otros factores: factores abióticos como la temperatura o bióticos. Las hormigas son uno de los grupos animales más diversificado, con 8800 especies descritas en la actualidad (WILSON 1990). Esta diversificación lleva pareja una

diversificación de los hábitos alimenticios y de los modos de vida.

Las comunidades de hormigas del suelo, en áreas abiertas de la región mediterránea están reguladas primariamente por las variaciones de temperatura (CERDÁ *et al.* 1998a). A causa de las fuertes variaciones diarias de temperatura que se dan, la resistencia fisiológica de cada especie puede ser más importante que su capacidad de interferencia competitiva (CERDÁ *et al.* 1997; 1998a; 1998b). En este contexto de temperaturas extremas, la hormiga argentina, a priori, no parece tener muchas posibilidades de éxito dada su escasa resistencia al calor. Pero en hábitats más cerrados o con presencia humana (que le aporta un refugio excelente a esta especie invasora), la cosa puede cambiar sustancialmente, ya que en las zonas arbustivas y forestales, las especies dominantes son más abundantes y las interacciones competitivas (en las que siempre gana la hormiga argentina) aparecen como la principal fuerza estructuradora (RETANA & CERDÁ 2000).

### **Objetivos del proyecto**

La conservación de la biodiversidad debe ser uno de los objetivos prioritarios de los Parques Nacionales. A un nivel más concreto, en el Parque Nacional de Doñana se descubrió y describió hace relativamente poco tiempo (TINAUT 1993) una especie de hormiga, *Cataglyphis floricola*, con una biología muy particular, ya que su dieta se basa casi exclusivamente en los pétalos del jaguarzo (*Halimium halimifolium*), un tipo de interacción hormiga-planta único a nivel mundial (CERDÁ *et al.* 1992; 1996). Por el momento, dicha hormiga está considerada como un endemismo local, dado que no ha sido hallada fuera del Parque Nacional y su zona de influencia. En diversas prospecciones realizadas durante el verano de 2000 se observó que los nidos de *C. floricola* eran atacados por la hormiga argentina.

Además, la hormiga argentina también ataca y ocupa los nidos de otras especies de hormigas con distribución ibérica o andaluza, llegando al extremo de que en determinadas zonas del Parque se ha convertido en la única especie presente. Ello, unido al descubrimiento de la inter-



acción negativa con la hormiga florícola hizo necesario profundizar en el estudio de esta especie invasora en el Parque Nacional de Doñana.

Los objetivos iniciales del proyecto eran los siguientes:

1. Determinar la distribución, abundancia y tasa de expansión de la hormiga argentina en los distintos biotopos de Doñana
2. Determinar la distribución y abundancia de la hormiga endémica de Doñana, *Cataglyphis floricola*, en los distintos biotopos del Parque
3. Estimar los efectos de la hormiga argentina sobre la comunidad de hormigas nativas y sobre la biodiversidad de artrópodos
4. Estimar los efectos de la hormiga argentina sobre otros grupos animales de vertebrados e invertebrados (no-hormigas) singulares
5. Evaluar los factores que favorecen la presencia y abundancia de la hormiga argentina en Doñana
6. Elaborar un plan de seguimiento, manejo y control de la hormiga argentina en Doñana.

Debido a la reducción del presupuesto solicitado fue necesaria una reducción de los objetivos planteados en la propuesta inicial, por lo que se eliminó el objetivo 4, se desarrollaron los objetivos 1, 2 y 5, y sólo parcialmente los objetivos 3 (únicamente se estimaron los efectos de la hormiga argentina sobre la comunidad de hormigas) y 6 (sólo se ha elaborado un plan de seguimiento, pues no fue posible diseñar y experimentar las medidas de manejo y control).

## MATERIAL Y MÉTODOS

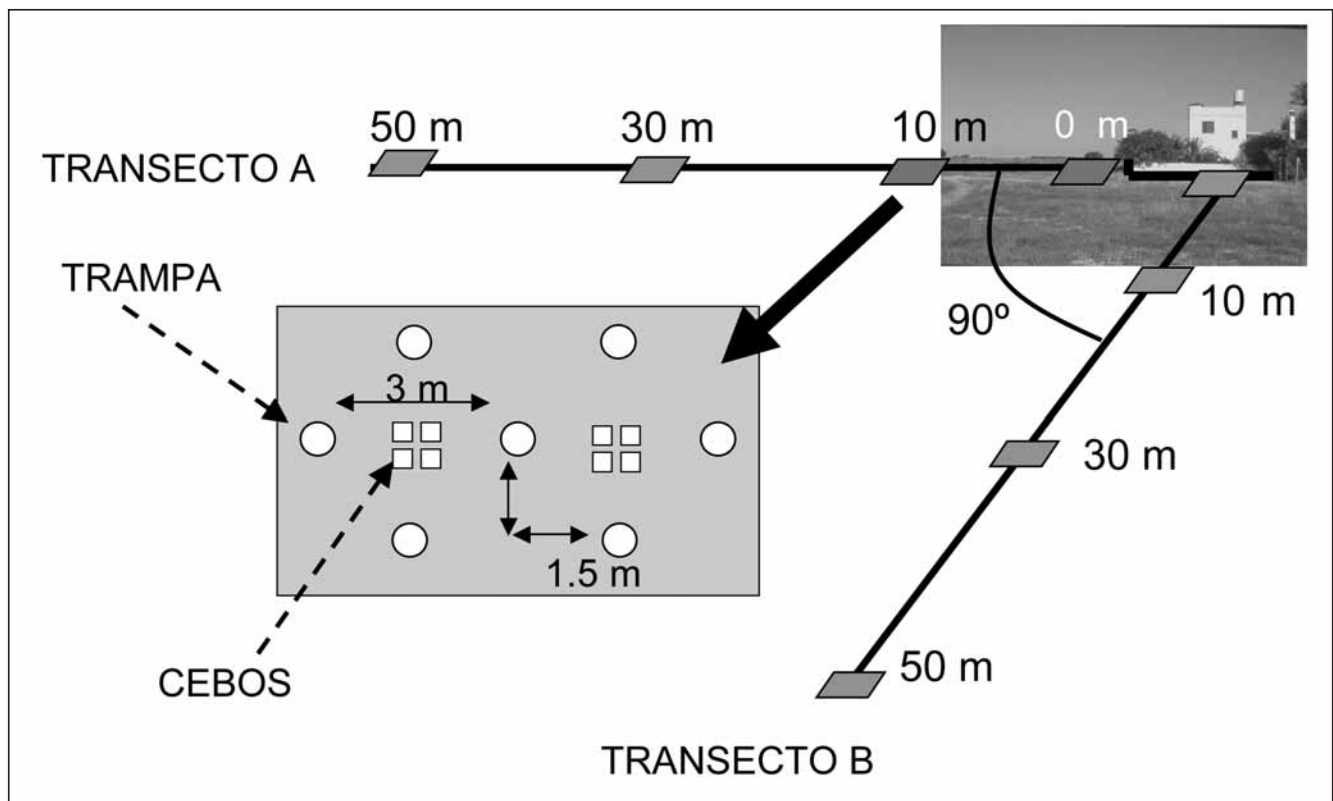
Se han utilizado dos protocolos de muestreo, extensivo e intensivo. Ambos tipos de muestreo son complementarios, el muestreo extensivo (con trampas de suelo) nos permite conocer dónde están presentes la hormiga argentina y la florícola y cuáles son sus niveles de abundancia (objetivos 1 y 2). El muestreo intensivo (con cebos) nos permite determinar los factores que favorecen la presencia de la especie invasora y la endémica y cómo funciona la comunidad de hormigas y el ecosistema sometido o no a una perturbación (objetivo 3).

### Muestreo con trampas de suelo (extensivo)

La abundancia de las diferentes especies de hormigas se analizó contando el número de obreras de cada especie recogidas en un conjunto de 21-28 trampas de suelo (pitfall) distribuidas homogéneamente (distancia entre trampas: 0.5 m) en grupos de 7 a lo largo de un transecto de 50 m. (distancia entre grupos: 10 y 20 m). En la Figura 1 se representa un esquema con la disposición de las trampas en una zona de muestreo. Las trampas son vasos de plástico de 6 cm de diámetro y 7 cm de profundidad, parcialmente llenados con agua y detergente. Las trampas quedan enterradas a ras de suelo y funcionan simplemente por gravedad: capturan los insectos que pasan y caen en ellas, pero no tienen ningún tipo de cebo que favorezca la atracción de las hormigas. El contenido de las trampas se vació a las 24 h de su instalación. El material se recogía agrupado por grupo de siete trampas, siendo ésta la unidad de muestreo (a menudo una trampa no tenía ninguna captura). Existían varias opciones para incrementar el número de capturas (y poder utilizar la trampa individual como unidad de muestreo), tales como dejar la trampa mucho más tiempo (por ejemplo, una semana) o poner algún tipo de cebo. Para los objetivos planteados en el proyecto, hemos juzgado innecesario incrementar el número de capturas, algo que conllevaría un incremento de la mortalidad de otros grupos animales que no son objeto de estudio, como artrópodos (por ejemplo escarabajos coprófagos, dípteros, etc.) e incluso vertebrados (pequeños mamíferos, lagartijas o sapillos). Con la unidad muestral propuesta garantizamos un impacto mínimo sobre los ecosistemas muestreados, primando la conservación. Una vez colectado, el material de los grupos de trampas se separó y analizó en el laboratorio, identificándose las hormigas a nivel de especie.

### Muestreo con cebos (intensivo)

Por otra parte, sobre los mismos transectos, y de manera paralela a los muestreos con las trampas de suelo, en algunas zonas se dispusieron grupos de cebos artificiales con diferentes tipos de alimento (queso, chorizo, galleta y miel). Los cebos se distribuyeron de manera regular en



**Figura 1** - Esquema mostrando la disposición de los grupos de trampas de suelo (pitfall) y de los dos transectos en una zona de muestreo. En el caso de utilizar también cebos, éstos se colocan en el centro de los grupos de trampas a 0 m, 10 m y 30 m de la casa. Cuando no se muestrea en la proximidad de una construcción, los dos transectos se sitúan en paralelo.

**Figure 1** - Diagram showing the position of pitfall traps groups and transects in a sampled area. When baits are also used, baits are placed in the center of each pitfall group at a distance from the house of 0, 10 and 30 m. When the sampled area is not near human settlement, the two transects are distributed in two parallel rows.

grupos de 4 (cada uno con un tipo de alimento), en las esquinas de un cuadrado, separados entre sí 0.25 m. Cada grupo de cebos se colocó en el centro de cada rombo de trampas (véase Figura 1). De esta manera las trampas nos proporcionaban una estima de la abundancia de cada especie y los cebos una estima de su eficacia en la recolección de alimento. Así como la unidad muestral de trampas era el grupo de siete trampas, la unidad muestral de cebos fueron los dos grupos de cuatro cebos (es decir, ocho), situados en el centro de ese grupo de siete trampas. Ello permitió el análisis apareado de ambas unidades muestrales.

Los cebos se colocaban al amanecer (07:00 h) y se revisaban cada hora hasta bien entrada la noche (23:30 h). En cada cebo se anotaba el número de obreras de cada especie presente, así como las interacciones entre las especies (expulsión, huida o coexistencia). Paralelamente se registraba la temperatura del suelo mediante Data-Loggers (Hobo's) programables.

Siguiendo a las obreras desde los cebos, se estimó la distancia de forrajeo (cebo-nido) para cada especie. También a partir de las observaciones en cebos pudimos determinar la temperatura de forrajeo de cada especie.

Se muestreó, durante el verano de 2001, en los distintos tipos de hábitat (dunas, corrales, pinar, alcornoques, monte blanco, monte negro, casas de guardas) de la Reserva Biológica de Doñana (RBD) mediante trampas pitfall y, en ocasiones, también mediante cebos. En el Apéndice 1 se indica la situación de las diferentes zonas de muestreo y sus respectivos transectos, así como la metodología utilizada.

#### Ritmos diarios de actividad de la hormiga argentina y la hormiga florícola

Las observaciones en los cebos (porcentaje de cebos ocupados cada hora) ya nos aportan una información acerca de los ritmos diarios de acti-

vidad de forrajeo de las especies. En el caso de la hormiga florícola, también se estudió el ritmo de actividad a la entrada del nido, contando el número de obreras que entraban y salían del mismo en períodos de 10 min cada hora y midiendo la temperatura del suelo cada hora. Como índice de actividad en el nido se ha utilizado la suma de las entradas y salidas observadas en dicho período.

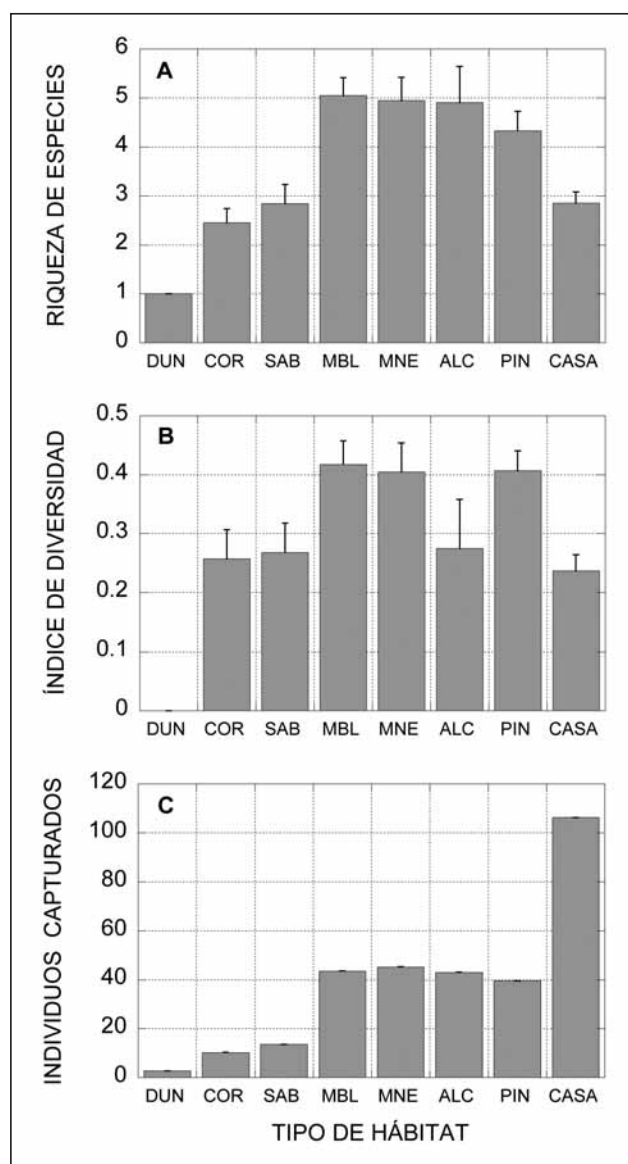
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Abundancia de hormigas en trampas de caída

Se ha encontrado un total de 28 especies de hormigas diferentes (Tabla 1), siendo el hábitat con mayor riqueza de especies de hormigas el monte blanco, y el más pobre el de dunas. En la figura 2A se representan los valores medios del número de especies encontradas en cada tipo de hábitat. El máximo número de especies encontradas por grupo de trampas (es decir, en un área de 25 m<sup>2</sup>) es de 9 especies diferentes. Asimismo, se ha calculado la diversidad ecológica (mediante el índice de Shannon) en cada tipo de hábitat. Los valores medios de diversidad son bastante bajos (véase la figura 2B), teniendo las dunas la mínima diversidad ( $H=0$ , una única especie de hormiga, *Tapinoma nigerrimum*), y los alcornoques la diversidad media máxima ( $H=0.464$ ). El valor máximo de diversidad por grupo de trampas es 0.790.

Por otra parte, la biomasa de hormigas (medida de manera indirecta como el número de individuos capturados por grupo de trampas) varía entre una media de 2.75 individuos por grupo de trampas en la dunas, y una media de 106 individuos en las proximidades de las casas (véase Figura 2C). Las dunas no sólo es el hábitat menos diverso, sino también el que presenta una menor abundancia de hormigas. Dejando a un lado el caso, evidentemente especial, de las construcciones humanas, los hábitats donde las hormigas son más abundantes son el monte negro, monte blanco y alcornoques (con valores medios de entre 43 y 45 individuos capturados por grupo de trampas).

Una de las cuestiones más delicadas que nos planteamos durante el desarrollo de este pro-



**Figura 2** - Riqueza (A), diversidad (B) y biomasa (C) en los diferentes tipos de hábitat muestreados en la Reserva Biológica de Doñana. La riqueza de especies de hormigas se estima mediante el número de especies diferentes; la diversidad ecológica se estima mediante el índice de Shannon (H); y la biomasa se estima mediante el número de individuos capturados por grupo de trampas. Los valores que se representan son la media y la desviación típica. DUN: dunas (n=4); COR: corrales (n=12); SAB: sabinar (n=12); MBL: monte blanco (n=21); MNE: monte negro (n=21); ALC: alcornoques (n=11); PIN: pinar (n=24); CASA: construcciones humanas (n=40).

**Figure 2** - Ant richness (A), diversity (B) and biomass (C) in each sampled habitat in Doñana Biological Reserve. Ant species richness is estimated using the number of different species; ecological diversity is estimated using the Shannon index (H); and biomass is estimated using the number of individuals caught per pitfall trap group. Values represented are mean and SD. DUN: dunes (n=2); COR: "corrales", vegetation between dunes (n=12); SAB: Savin juniper tree forests (n=12); MBL: "monte blanco" dry shrub (n=21); MNE: "monte negro" wet shrub (n=21); ALC: isolated cork oak trees (n=11); PIN: Pine tree forests (n=24); CASA: human settlements (n=40).

	PARQUE NACIONAL NATIONAL PARK							PARQUE NATURAL NATURAL PARK					
HABITAT ==>	DUNAS Y CORRALES Dunes and "Corrales"	SABINAR Savin Juniper forest	MONTE NEGRO Wet shrub	MONTE BLANCO Dry shrub	PINAR Pine tree forest	ALCORNOCQUES Cork oak trees	HUMANIZADO Human settlement	ALAMEDA Poplar grove	PRADOS Prairies	MONTE BLANCO Dry shrub	MATORRAL Y PINAR Pine tree forest with shrub	PINAR-SABINAR Pine tree & savin Juniper forest	HUMANIZADO Human settlement
ESPECIES SPECIES													
<i>Crematogaster auberti</i>	+	+	+	+	+	+	+		+		+	+	
<i>Crematogaster scutellaris</i>					+	+			+		+	+	
<i>Pheidole pallidula</i>	+	+					+		+		+		+
<i>Cataglyphis rosenhaueri</i>									+				+
<i>Cataglyphis floricola</i>		+		+	+	+	+						
<i>Linepithema humile</i>					+	+	+						+
<i>Lasius niger</i>	+		+		+								
<i>Lasius sp.</i>									+				
<i>Tapinoma nigerrimum</i>	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+
<i>Monomorium subopacum</i>											+	+	
<i>Aphaenogaster senilis</i>			+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
<i>Aphaenogaster gibbosa</i>			+	+			+						
<i>Aphaenogaster dulcinea</i>	+												
<i>Tetramorium impurum</i>			+	+		+	+				+	+	+
<i>Tetramorium semilaeve</i>									+				
<i>Tetramorium caespitum</i>	+	+	+	+		+	+		+				+
<i>Messor maroccanus</i>				+		+	+		+		+	+	
<i>Messor barbarus</i>									+		+	+	
<i>Messor hispanicum</i>									+				
<i>Plagiolepis pygmaea</i>	+	+	+	+	+	+	+		+				
<i>Plagiolepis schmitzi</i>									+		+	+	
<i>Camponotus lateralis</i>				+	+	+			+		+	+	
<i>Camponotus pilicornis</i>			+	+	+				+				
<i>Camponotus fallax</i>					+								
<i>Oxyopomyrmex sp.</i>		+	+				+						
<i>Myrmica sp.</i>	+		+										
<i>Formica subrufa</i>			+	+		+							
<i>Formica sp.</i>			+										
<i>Leptothorax sp. A</i>		+			+	+	+						
<i>Leptothorax sp. B</i>							+						
<i>Leptothorax sp. C</i>		+	+	+	+	+	+						

**Tabla 1.** Lista de las especies de hormigas encontradas en los diferentes hábitats del Parque Nacional (Reserva Biológica) y Parque Natural (Sanlúcar de Barrameda) de Doñana.

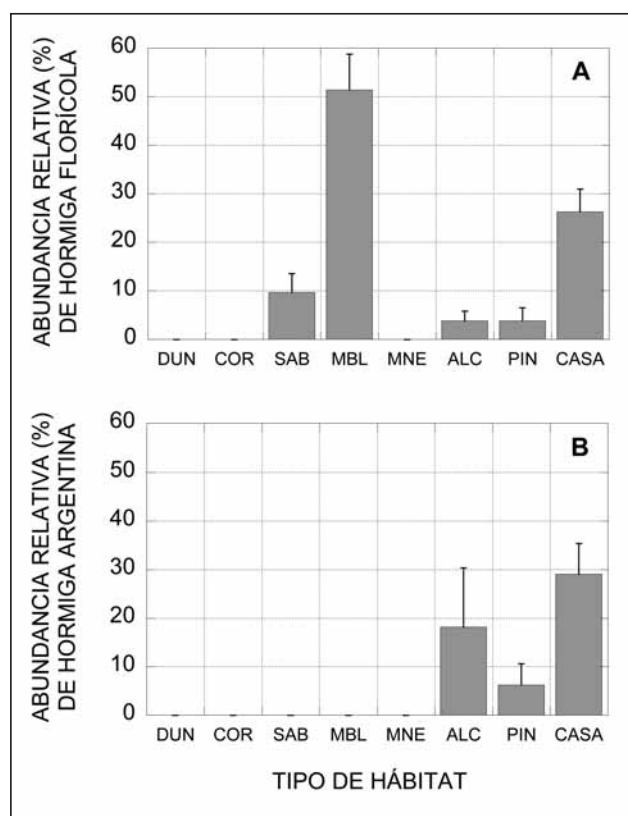
**Table 1.** List of ant species found in the different habitats of Doñana National Park (Biological Reserve) and Doñana Natural Park (Sanlúcar de Barrameda).



yecto fue la necesidad de los (imprescindibles) muestreos mediante trampas de caída, que implican la muerte de numerosas hormigas (a la par que de otros artrópodos epigeos, como los coleópteros coprófagos, saltamontes, etc). Lo primero fue reducir al mínimo la permanencia de las trampas en el campo (sólo 24h) y el número de trampas instaladas (7 por grupo). En segundo lugar, cubrimos mediante ramas la boca del bote, impidiendo así el acceso a la trampa de otros artrópodos mayores que las hormigas y disminuyendo su efecto sobre otros grupos.

En un principio nos preocupaba la posibilidad de que este tipo de muestreo no fuera suficiente como para aportar información sobre la abundancia de las hormigas, pero los resultados han mostrado que sí lo es. Y, por otra parte, los resultados también han mostrado que el número de capturas no representa una extracción excesiva para las sociedades de hormigas. A partir de las capturas realizadas con trampas de suelo en las diferentes zonas de Doñana (detalladas en el Apéndice 1), hemos obtenido unos valores medios ( $\pm$  SD) de  $89,96 \pm 114,97$  obreras por unidad muestral de siete trampas lo que da una estima de  $12,9 \pm 16,4$  obreras por trampa individual. La mayoría de las colonias de las especies pequeñas de Doñana oscilan entre 250 y 2000 obreras, la extracción máxima de 40 obreras (normalmente los valores oscilan entre 5 y 20; las obreras de un mismo nido raramente caerán en más de una trampa), no les supone ningún problema para su supervivencia. Para el caso de las colonias medianas (con poblaciones de entre 2000 y 20000 obreras, caso de las granívoras del género *Messor* o de las colonias de *Tapinoma* o *Tetramorium*), el número de capturas oscila entre 40 y 100 obreras, lo cual tampoco supone ningún problema para la conservación ni de la sociedad ni de la especie en el hábitat muestreado. Con este tipo de muestreos compatibilizamos perfectamente el rigor científico con la conservación del hábitat.

Al estudiar, a partir de las capturas en trampas, la abundancia de las hormigas florícola y argentina, vemos que la especie endémica de Doñana, *Cataglyphis floricola*, está presente en pinares, alcornoques, sabinar, es especialmente abun-



**Figura 3** - Abundancia relativa (media $\pm$ SE) de la hormiga argentina (B) y *Cataglyphis floricola* (A) en los diferentes tipos de hábitat muestreados en la RBD. Las abreviaturas son las mismas que las utilizadas en la Figura 1.

**Figure 3** - Relative abundance (mean $\pm$ SE) of the Argentine ant (B) and *Cataglyphis floricola* (A) in the different sampled habitats in Doñana Biological Reserve. Habitat abbreviations are described in Figure 1.

dante en el monte blanco (donde representa más del 50% de las capturas, Figura 3A), y también bastante abundante en las proximidades de las construcciones humanas (aquí con valores medios de capturas parecidos a los de la hormiga argentina: 26.3 % frente a los 29.01 % de la argentina). En cuanto a la presencia de la hormiga argentina, está limitada a tres tipos de hábitat: casas, pinar y alcornoques (Figura 3B). En realidad su presencia en pinares y alcornoques se limita a aquellos transectos próximos a construcciones humanas, es decir, la especie no está presente (de momento) fuera de la zona de influencia humana.

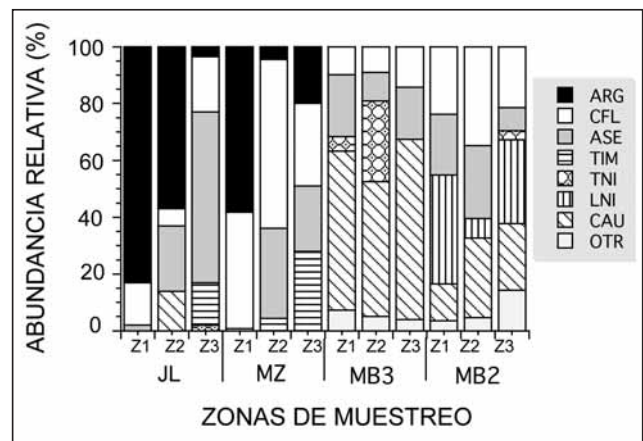
El hecho de que la hormiga argentina y la florícola compartan el hábitat es relativamente tranquilizador, por cuanto indica que la hormiga argentina no consigue eliminar a la florícola.

Aunque sí que elimina al resto de las especies nativas: la florícola es casi la única hormiga ibérica presente en las zonas más próximas (a menos de 10 m) de las construcciones humanas, donde domina la hormiga argentina.

**Presencia de las hormigas en los cebos**

En la Figura 4 se muestra la abundancia relativa de las distintas especies de hormigas a lo largo de los transectos de cebos en cuatro zonas distintas, dos zonas alteradas por el hombre (el cercado del Jaulón y la casa del Martinazo) y dos zonas sin alterar de monte blanco. Al igual que se observaba con las trampas, los cebos confirman que la presencia de la hormiga argentina está exclusivamente ligada a las construcciones humanas. Hay un claro efecto de la distancia a la construcción: la hormiga argentina es mucho más abundante en los cebos próximos a la casa (Z1), donde la única especie que también aparece es la florícola y, de forma casi testimonial, *Aphaenogaster senilis*. Conforme nos alejamos de la construcción va disminuyendo la presencia de la especie invasora, estando casi siempre ausente o en muy escasa abundancia en los cebos más alejados (Z3), en los que ya aparecen otra especie dominante local, *Tetramorium impurum*. Las diferencias con las zonas de estudio no alteradas por el hombre (monte blanco, muy similar al tipo de vegetación que rodea tanto la casa del Martinazo como el Jaulón) son evidentes: en estas zonas nunca se ha detectado la presencia de la hormiga argentina, hay una mayor riqueza de especies, y aparecen otras especies dominantes como la ya citada *T. impurum*, o *Lasius niger* y *Tapinoma nigerrimum*.

Respecto a las interacciones interespecíficas en los cebos, el primer y sorprendente resultado de nuestras observaciones es que se trata de un fenómeno relativamente raro (Tabla 2): en muy pocas ocasiones coinciden dos especies diferentes en un mismo cebo, y cuando coinciden son pocas la veces que una detecta la presencia de la otra especie (pueden estar las obreras de cada especie en un extremo distinto del cebo). Esto es algo completamente distinto de lo que ocurre en otras comunidades mediterráneas de zonas abiertas, como las estudiadas por CERDÁ *et al.* (1997; 1998b) en el litoral catalán.



**Figura 4** - Abundancia relativa de las diferentes especies de hormigas en los cebos en diferentes zonas de muestreo (dos zonas humanizadas: JL – Jaulón del linco, MZ- casa del Martinazo; y dos zonas de monte blanco: MB3 y MB2) y a lo largo del transecto. Los valores son la media de la abundancia en los dos transectos por zona (ver Figura 1). Z1: primer grupo de cebos (el más próximo a la construcción humana cuando la hay); Z2: segundo grupo de cebos (a 10-15 m de la construcción); Z3: tercer grupo de cebos (a más de 30 m de la construcción, si la hay). ARG: *hormiga argentina*; CFL: *Cataglyphis floricola*; ASE: *Aphaenogaster senilis*; TIM: *Tetramorium impurum*; TNI: *Tapinoma nigerrimum*; LNI: *Lasius niger*; CAU: *Crematogaster auberti*; OTR: otras especies de hormigas.

**Figure 4** - Relative abundance of ant species sampled in baits between two humanized sites (JL – Jaulón del linco, MZ – casa del Martinazo) and two dry shrub sites (MB3 and MB4) and along transects. Values represented are mean abundance values for the two transects (see Figure 1). Z1: first bait group (the closest to human settlement in JL and MZ sites); Z2: second bait group (10-15 m away from human settlement in JL and MZ sites); Z3: third bait group (more than 30 m away from human settlement in JL and MZ sites). ARG: *Argentine ant*; CFL: *Cataglyphis floricola*; ASE: *Aphaenogaster senilis*; TIM: *Tetramorium impurum*; TNI: *Tapinoma nigerrimum*; LNI: *Lasius niger*; CAU: *Crematogaster auberti*; OTR: other ant species.

	Número de casos Number of cases	%
Total de cebos observados Total bait observations	6144	-
Total de cebos ocupados Total occupied baits	5384	87.6
Dos especies en un mismo cebo 2 species at the same bait	219	3.6
Sin interacción entre ambas No interaction between both species	120	1.9
Interacción = Agresividad Interaction = Aggression	95	1.5
Interacción = Coexistencia Interaction = Peaceful coexistence	4	0.06

**Tabla 2.** Resumen de las observaciones en los cebos de todas las zonas de estudio.

**Table 2.** Summary of bait observations in all study sites.

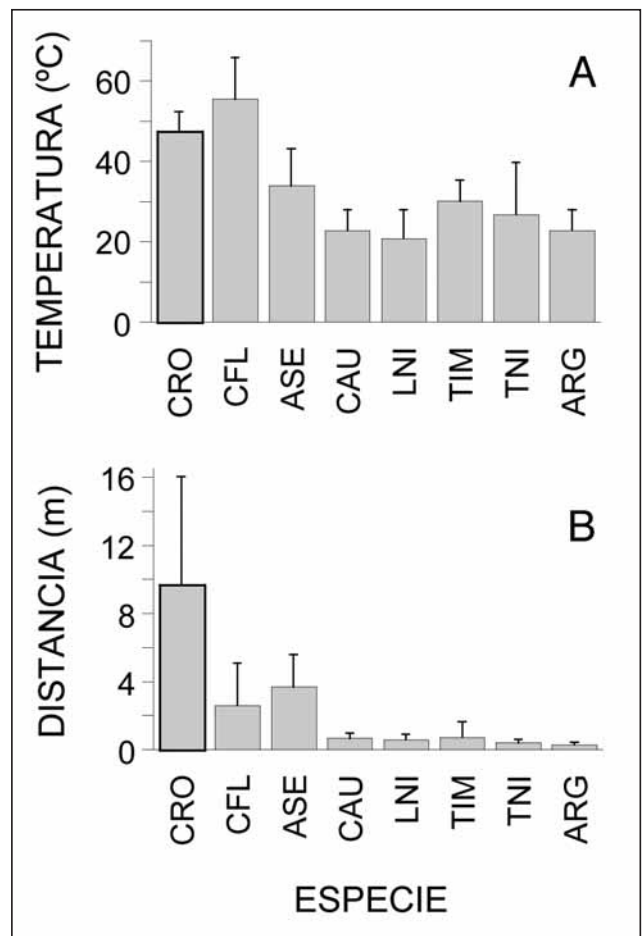
Los pocos casos de interacciones agresivas no nos han permitido elaborar una matriz de jerarquía de dominancia competitiva. Pero sí hemos podido observar en los cebos de Doñana un fenómeno ya descrito en las ciudades comunitarias catalanas: en algunos casos, la especie ganadora de las interacciones en los cebos es una especie subordinada (CERDÁ *et al.* 1997). En la Tabla 3A se observa que en esos casos en que gana la especie subordinada, la temperatura es significativamente superior a los casos en los que gana la especie dominante (con una media de 43°C frente a 30°C). Por otra parte, analizando por separado los casos donde la ganadora es la hormiga argentina o donde la ganadora es otra especie dominante (Tabla 3B), no hay diferencias significativas en la temperatura, es decir que la hormiga argentina tiene un comportamiento similar al de las otras dominantes a las que suplanta.

A partir de las observaciones en los cebos, pudimos estimar la temperatura de forrajeo de cada una de las especies (Figura 5A). En el caso de la hormiga argentina, su temperatura de forrajeo está entre las menores observadas, es decir que no tolera nada bien las temperaturas elevadas. Para protegerse de las altas temperaturas necesita utilizar como refugio la proximidad de una construcción; como la arena se calienta en exce-

	TEMPERATURA			GLM		
	Ganadora	media	SE	n	F	p
A DOM	30.0	0.76	42			
SUB	43.0	1.49	11	55.7	0.0001	
B ARG	30.3	0.88	34			
otras DOM	28.9	1.82	8	0.74	n.s.	

**Tabla 3.** Efecto de la temperatura sobre el resultado de las interacciones agresivas observadas en los cebos, considerando (A) si la ganadora es una especie dominante (DOM) o subordinada (SUB), y (B) de entre las dominantes si es o no la hormiga argentina (ARG). Se indican los valores de los estadísticos F y P del análisis realizado (GLM). n.s.: no significativo; SE: error estándar; n: tamaño muestral.

**Table 3.** Temperature effect on the outcome of aggressive interactions at baits, when (A) the winner is a dominant (DOM) or a subordinate (SUB) species, and (B) among dominants when it is the Argentine ant (ARG). F- and p-values from GLM analysis are shown. n.s.: non significant; SE: Standard error; n simple size.



**Figure 5 -** Temperatura de forrajeo (A) y distancia de forrajeo (B) de cada una de las especies más abundantes en Doñana (en la Reserva Biológica de Doñana y en el Parque Natural, Sanlúcar de Barrameda). Se representan los valores medios y las desviaciones típicas. Las abreviaturas son las mismas que en la Figura 4; CRO: *Cataglyphis rosenhaueri*.

**Figure 5 -** Foraging temperature (A) and foraging distance (B) of the most abundant ant species in Doñana (Doñana Biological Reserve and Doñana Natural Park –Sanlúcar de Barrameda). Values represented are mean values and standard deviations. Abbreviations are described in Figure 4; CRO: *Cataglyphis rosenhaueri*.

so, prefiere nidificar bajo el cemento u hormigón. En cambio la hormiga florícola es la que prefiere las temperaturas más elevadas para la recolección de alimento, con lo que parece que en Doñana se encuentra en su hábitat óptimo.

Siguiendo a las obreras de regreso a su nido desde el cebo, pudimos estimar la distancia media de forrajeo de cada especie. En la Figura 5B se aprecia que la menor distancia de forrajeo es la de la hormiga argentina. Ello se debe a que sus colonias están muy extendidas formando una red de nidos (bastante superficiales, de menos de 30 cm de profundidad) conectados



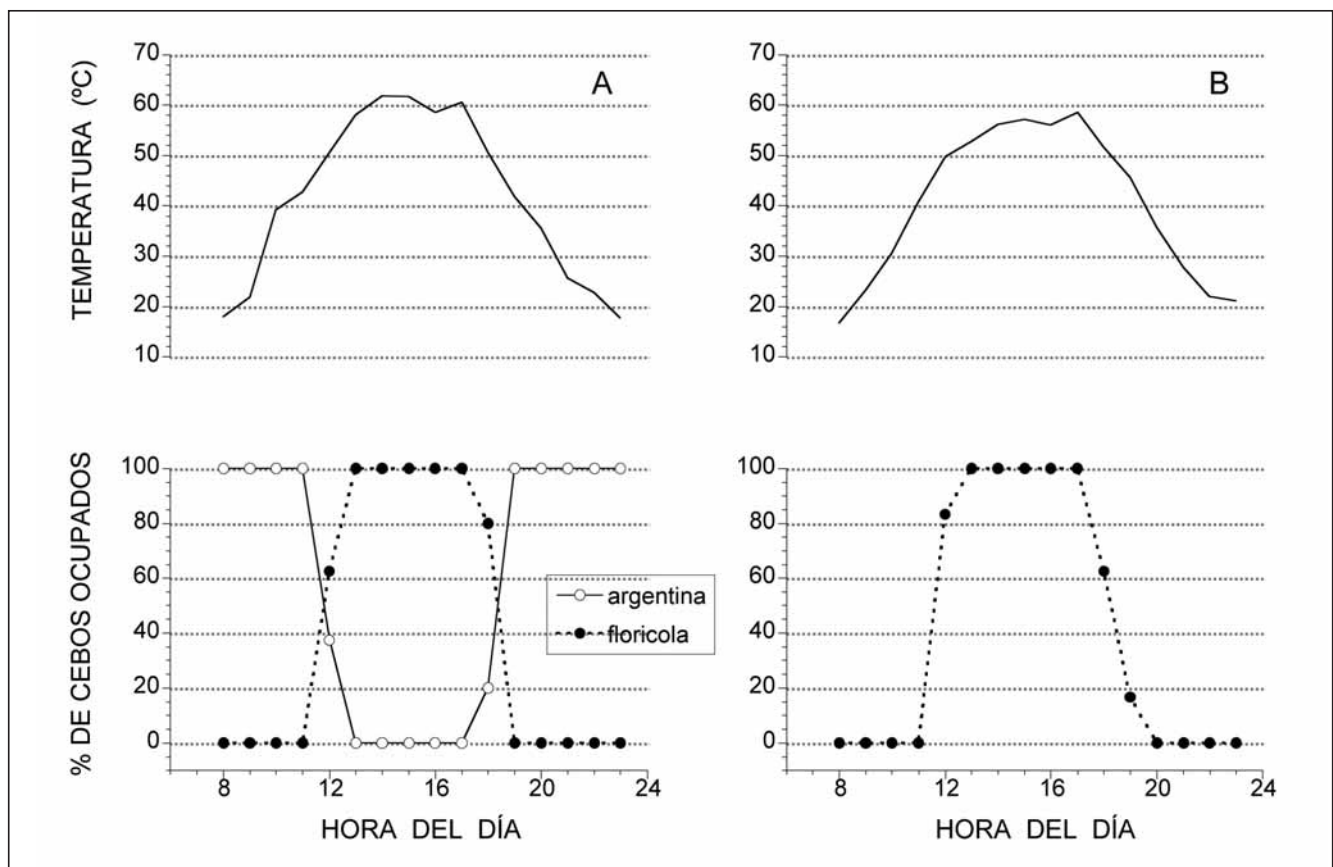
entre sí por numerosas pistas (HELLER & GORDON 2006) que a menudo son subterráneas para evitar el calor o a los posibles depredadores. De esta manera, las obreras pueden salir al exterior muy cerca de las fuentes de alimento (cebos) y nunca necesitan más de 20 cm para alcanzar una entrada de la colonia.

### Ritmos diarios de actividad de la hormiga florícola y de la hormiga argentina

Una pregunta clave subyacente en los objetivos del proyecto, es si la hormiga argentina altera o influye las poblaciones de la florícola, especie endémica de Doñana. Cuando se observan los ritmos de actividad diarios de ambas especies en los cebos (Figura 6A), se aprecia que son muy escasos los momentos del día en que coinciden, la actividad de una y otra está segregada a causa

de las diferencias en sus preferencias térmicas: la florícola alcanza un buen nivel de actividad por encima de los 40°C de temperatura, que es precisamente la temperatura crítica (a la que mueren las obreras si están sometidas durante 10 min, CERDÁ *et al.* 1998b) de la hormiga argentina (datos de los autores no publicados). Podría pensarse que la florícola forrajea a esas temperaturas, para evitar a la hormiga argentina, pero en zonas donde no está presente la hormiga argentina (Figura 6B), los patrones de actividad de la florícola siguen siendo los mismos que en las zonas donde coexisten las dos especies.

Incluso una hormiga tan termófila como la florícola, tiene un límite superior de temperatura por encima del cual se detiene o disminuye sustancialmente el forrajeo. La temperatura crítica de la especie está en 50°C (datos de los autores no publicados), pero las obreras continúan reco-



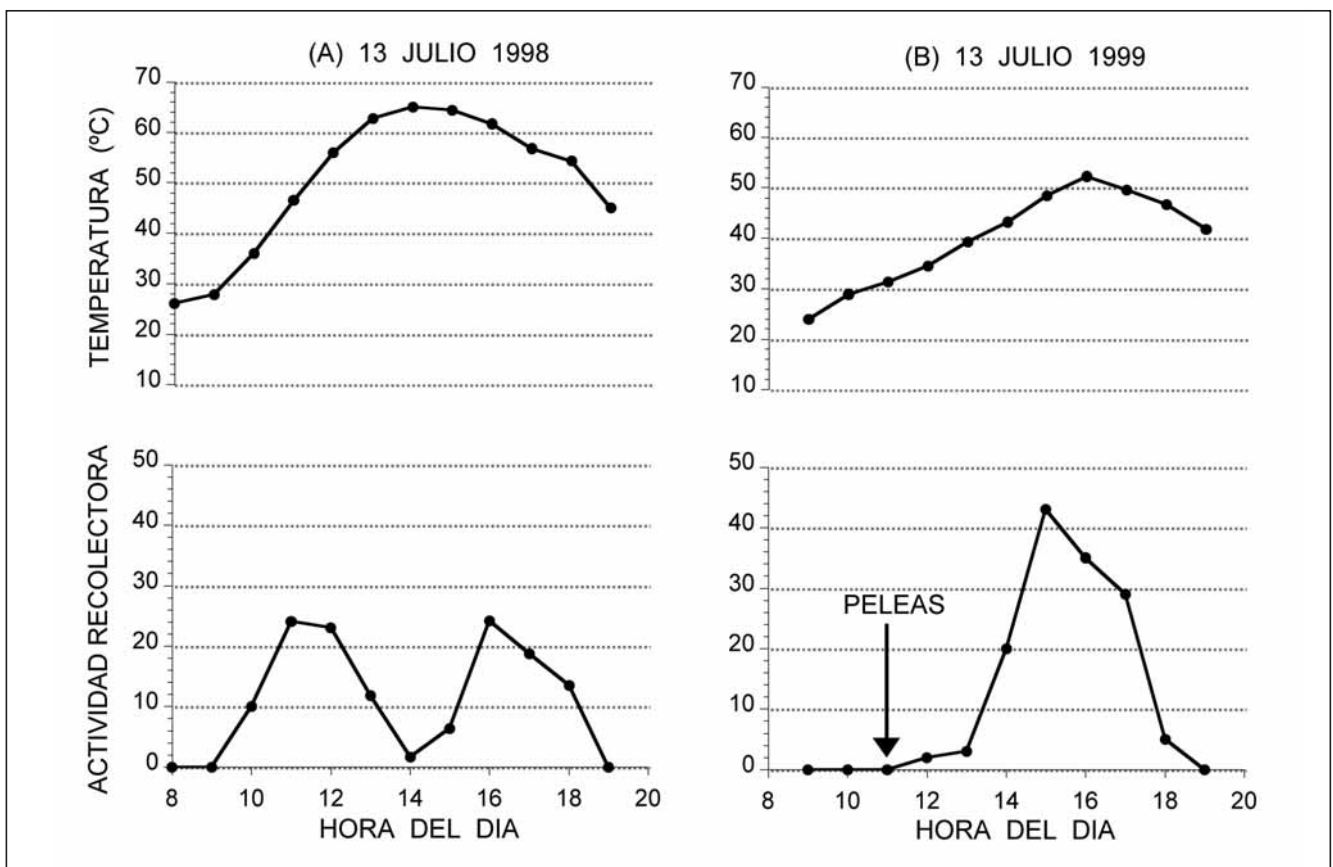
**Figura 6** - Ritmos de actividad en los cebos a lo largo del día de la hormiga argentina y la hormiga florícola en la zona más próxima a la casa del Martinazo (A), y en la zona más alejada (>30 m) de dicha casa (B). Para cada zona se muestra la curva de variación de la temperatura del suelo.

**Figure 6** - Daily activity patterns in baits of the Argentine ant and *Cataglyphis floricola* in the bait group closest to the Martinazo house (A) and in the bait group farthest to the Martinazo house (>30 m). Upper graphs show the corresponding soil temperature variation curves.



lectando alimento hasta casi 60°C de temperatura del suelo al sol (Figura 7A), asumiendo un importante riesgo de estrés térmico, como otras especies de su género (CERDÁ *et al.* 1998b). En estas condiciones, podría pensarse que muy raramente va a coincidir y competir con la hormiga argentina, pero incluso durante el verano andaluz hay algunos días nublados y en estos días la florícola no tiene mucha actividad hasta que la temperatura del suelo no alcanza los 40°C (Figura 7B). En estos casos, como el que muestra la Figura 7B, desde las 11 de la mañana hay algunas obreras en las proximidades de la entrada del hormiguero. Es en ese momento en el que se da una coincidencia con la hormiga argentina (que no detiene su actividad hasta que no hace calor), y en esas ocasiones se establecen peleas entre obreras de ambas especies. Aunque la florícola es de mucho mayor tamaño que las argen-

tinias (6 mm frente a 2.4 mm de longitud), la estrategia de la argentina la convierte en un eficaz contrincante: entre varias obreras atacan a una gran florícola evitando sus mandíbulas, la muerden y sujetan por las patas y antenas, inmovilizándola y dándole muerte. La respuesta de la florícola ante estos ataques es detener su actividad y, las obreras que pueden, regresan al nido y cierran su entrada. Cuando florícola no está activa, la entrada del nido permanece cerrada con arena, lo que hace imposible su localización por parte de la hormiga argentina. Esta es la gran ventaja de esta especie frente a otras locales (*Aphaenogaster senilis* o *Pheidole pallidula*) que, al no cerrar la entrada del hormiguero, facilitan a la argentina acceder al mismo, atacarlas y expulsarlas para colonizar el territorio. Con las florícolas no pueden hacerlo, porque no saben dónde se encuentra el nido; así que estos encuentros



**Figura 7** - Ritmos de actividad en el nido de la hormiga florícola el mismo día en dos años consecutivos. La actividad recolectora se calcula como el número de obreras que entran y salen del nido en períodos de 10 min cada hora. Se indica también la curva de variación de la temperatura del suelo.

**Figure 7** - Daily activity patterns of *Cataglyphis floricola* in the nest entrance the same day of two consecutive years. The number of workers that come in and come out during 10 min each hour describes the foraging activity. Upper graphs show the corresponding soil temperature variation curves.

agresivos sólo se saldan con la pérdida de algunas obreras de florícola, pero nunca con el abandono forzado del hormiguero, como sucede en las otras especies locales de Doñana. El resultado es relativamente tranquilizador para la conservación de la especie endémica.

### **Expansión de la hormiga argentina: variaciones interanuales**

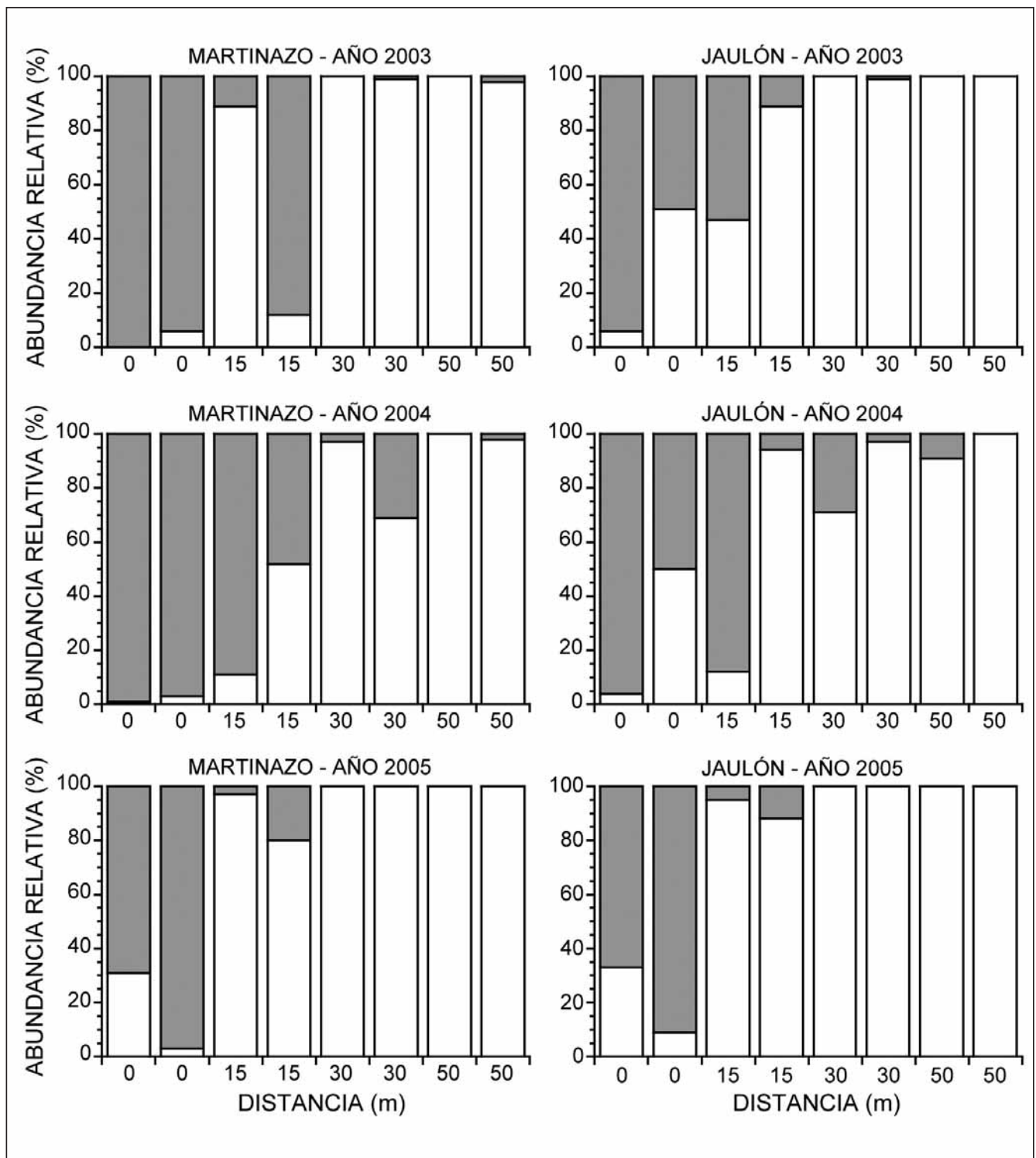
Para cuantificar la posible expansión en Doñana de esta especie invasora, se viene realizando un seguimiento desde 1998 en dos enclaves humanizados ya citados, la casa del Martinazo y el Jaulón del linco. En la Figura 8 se exponen los resultados correspondientes al período 2003-2005. Podemos ver cómo hay unas ciertas diferencias en la abundancia relativa de hormiga argentina en los distintos años (y también entre los grupos de trampas de los dos transectos). En 2003 la hormiga argentina estaba presente de forma muy esporádica en algunas trampas situadas a 50 m de la casa del Martinazo, pero no en el Jaulón. En 2004, ya aparece también en las trampas a 50 m del Jaulón. Pero, en cambio, en 2005 la hormiga argentina no aparece en las trampas a 30 m ni a 50 m del Jaulón o del Martinazo. Estas fluctuaciones entre años son probablemente debidas a la meteorología, ya que la humedad del suelo (y, por tanto, la precipitación) afecta enormemente a esta especie. El seguimiento a largo plazo y su contraste con las bases de datos meteorológicas nos darán la respuesta. Por el momento, tras más de 8 años de muestreos, podemos afirmar que la expansión de la hormiga argentina hacia los hábitats naturales de Doñana (monte blanco) no se está produciendo, probablemente a causa de la limitación impuesta por las elevadas temperaturas que alcanza el suelo arenoso durante el verano.

## **PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN**

Dentro del paisaje de Doñana, la presencia de alcornoques aislados -uno de los símbolos más representativos del Parque Nacional- supone una heterogeneidad del hábitat, e igual ocurre con los enclaves humanos (casas habitadas o

deshabitadas). Los árboles aislados aumentan la heterogeneidad del paisaje y, en paisajes simplificados (como es el caso del matorral de Doñana, monte blanco o monte negro) aumentan la diversidad de insectos, al aportar alimento, refugio ante predadores y también protección frente a las altas temperaturas. Así, al interceptar la radiación solar con sus copas, los árboles hacen que las temperaturas de su entorno sean menos extremas, y también modifican las propiedades del suelo, tanto en lo concerniente a la humedad como a la materia orgánica del mismo, aportada por el árbol o por sus habitantes (REYES-LÓPEZ *et al.* 2003). Son varios los trabajos que demuestran que la heterogeneidad de los árboles aislados supone, con respecto al paisaje circundante, un claro incremento en la diversidad de hormigas (MAJER & DELABIE 1999; BESTELMEYER & SCHOOLEY 1999; DUNN 2000; REYES-LÓPEZ *et al.* 2003; GOVE & MAJER 2006). Sin embargo, en Doñana se ha venido observando una progresiva colonización de los alcornoques por la hormiga argentina (CARPINTERO *et al.* 2005), que pasan de estar ocupados por un total de hasta 13 especies locales, a estar ocupados por esta única invasora. CARPINTERO *et al.* (2005) hipotetizan que la colonización de estos árboles aislados puede darse por el transporte de la hormiga argentina, tanto por el hombre (guardas o investigadores), como también por animales que se alimentan de basura o carroña y muchas veces la transportan, como en el caso del zorro o los milanos.

Respecto a los enclaves humanos, la presencia de edificaciones o de pistas pavimentadas tiene una bien demostrada influencia sobre las especies invasoras, como la hormiga roja de fuego (FORYS *et al.* 2002) o la hormiga argentina (CARPINTERO *et al.* 2003). Como ya se ha dicho antes, estos enclaves suponen una alteración de las condiciones naturales del suelo, por ejemplo, a nivel de la temperatura (suponen un refugio para las especies invasoras porque amortiguan las fluctuaciones de temperatura); y asimismo suelen aportar alimento alternativo (basura) eficazmente explotado por las especies invasoras.



**Figura 8** - Abundancia relativa (en %) de hormigas capturadas con trampas de caída en los años 2003, 2004 y 2005 en dos zonas con influencia humana en la RBD: el Jaulón del Lince y la casa del Martinazo. En gris se indica la abundancia de la hormiga argentina, en blanco la abundancia de las especies locales. Las distancias están referidas a la situación de las trampas con respecto a la construcción humana (cercado del Jaulón o muro de la casa). Para cada distancia se tomaron dos muestras en dos transectos con distinta orientación (ver Figura 1).

**Figure 8** - Relative abundance (%) of ants captured with pitfall traps in three consecutive years (2003 to 2005) in two sites with human settlement: Jaulón del lince, and the Martinazo house. Abundance of the Argentine ant is showed in grey and abundance of the native species is showed in white. In the X-axis, distance refers to the location of pitfall traps in relation to the human settlement border; two samples for the same distance correspond to the two transect as explained in Figure 1.

Por todo ello, puede ser muy interesante modelizar las situaciones concretas en las que se produce la invasión de la hormiga argentina, tanto en los alcornoques como en las casas del Parque Nacional de Doñana. En la actualidad, nuestra línea de investigación pretende desarrollar modelos de hábitat y modelos de dinámica de poblaciones para la hormiga argentina, utilizando la base de datos obtenidos en el proyecto finalizado, así como nuevos datos tomados sobre el terreno (de variables del paisaje, del hábitat y de microhábitat), y datos procedentes de la cartografía digital y las bases de datos de SIG (disponibles en el LAST de la Estación Biológica de Doñana). El objetivo principal de dicha investigación es conseguir identificar las variables que potencian o impiden la expansión de la hormiga argentina en Doñana, para desarrollar un plan de seguimiento y manejo enfocado hacia el control de dicha especie invasora que también pueda ser aplicable en otros espacios protegidos.

## CONCLUSIONES

De los resultados expuestos, podemos confirmar lo ya observado por otros autores (CARPINTEIRO *et al.* 2003), que la presencia de la hormiga argentina en Doñana está reducida a los hábitats sometidos a la influencia humana. Su expansión hacia el hábitat natural abierto (monte blanco) parece limitada por la temperatura. Por otra parte, las poblaciones de la hormiga endémica *Cataglyphis floricola* no sufren un efecto directo significativo a causa de la especie invasora, pero la hormiga argentina sí que es una amenaza para la conservación del ecosistema, pues provoca una importante reducción de la biodiversidad y la desaparición de las especies dominantes locales, algo similar a lo que sucede en California (SANDERS *et al.* 2003; HOLWAY 2005; HOLWAY & SUAREZ 2006).

## RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

1. El seguimiento de la presencia de hormiga argentina y de su coexistencia con la hormiga

florícola, debe servir para garantizar la conservación de esta segunda especie, un endemismo de Doñana. Aunque las poblaciones de la florícola parecen gozar, por el momento, de muy buena salud, se hace necesario garantizar su conservación mediante un seguimiento sistematizado de la misma y de la especie invasora. Para ello se ha puesto a punto un protocolo de seguimiento que está siendo utilizado en la Reserva Biológica de Doñana desde hace dos años.

1. La presencia de la hormiga argentina conlleva una serie de efectos negativos a diferentes niveles del ecosistema (más allá de las hormigas, véase la introducción), que aunque desconocidos en lo que se refiere a las redes tróficas de Doñana pueden ser importantes. Por ello creemos necesario tomar medidas para controlar y evitar la expansión de esta especie invasora.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se ha beneficiado de una Ayuda para la Investigación del Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autónomo de Parques Nacionales (convocatoria 2003). Los autores quieren agradecer a Alberto Tinaut (Universidad de Granada) la identificación de las especies de hormigas; a Isabel Luque y Ana Carvajal la separación y clasificación de todo el material; a Tarik Manzaneda la participación en algún muestreo preliminar durante su prestación del servicio social sustitutorio; a Aaron Gove, Merav Vonshak, Fernando Amor y Patrocinio Ortega su colaboración en el trabajo de campo; a Angel Barroso los datos preliminares del Parque Natural; a Iván Gómez-Mestre su ayuda con el análisis de los datos; a todo el personal del Palacio y la Reserva Biológica de Doñana su amabilidad y buena disposición, especialmente a M.A. Bravo y Rafa Laffitte su paciencia con los estudiosos de estos seres absurdos. Queremos dedicar este trabajo a dos personas fallecidas en 2006: al profesor Andrés de Haro, quien guió los primeros pasos de algunos de los autores en el terreno de la etología de las hormigas *Cataglyphis*; y a D. José Navas, amigo con quien echamos muchos ratos y muchas charlas, primero en Cazorla y luego en la Reserva.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BESTELMEYER, B.T. & SCHOOLEY, R.L. 1999 The ants of the southern Sonoran desert: community structure and the role of trees. *Biodiversity & Conservation* 8: 643-657.
- BLANCAFORT, X. & GÓMEZ, C. 2005 Consequences of the Argentine ant, *Linepithema humile* (Mayr), invasion on pollination of *Euphorbia characias* (L.) (Euphorbiaceae). *Acta Oecologica* 28: 49-55.
- BOLGER, D.T., SUÁREZ, A.V., CROOKS, K.R., MORRISON, S.A. & CASE, T.J. 2000 Arthropods in urban habitat fragments in southern California: area, age, and edge effects. *Ecological Applications* 10: 1230-1248.
- BOND, W. & SLINGSBY, P. 1984. Collapse of an ant-plant mutualism: the Argentine ant (*Iridomyrmex humilis*) and myrmecochorous Proteaceae. *Ecology* 65: 1031-1037.
- CARPINTERO, S., REYES-LÓPEZ, J. & ARIAS DE REYNA, L. 2003 Impact of human dwellings on the distribution of the exotic Argentine ant: a case study in the Doñana National Park, Spain. *Biological Conservation* 115: 279-289.
- CARPINTERO, S., REYES-LÓPEZ, J. & ARIAS DE REYNA, L. 2005 Impact of Argentine ants (*Linepithema humile*) on an arboreal ant community in Doñana National Park, Spain. *Biodiversity & Conservation* 14: 151-163.
- CERDÁ, X., RETANA, J., CARPINTERO, S. & CROS, S. 1992. Petals as the main resource collected by the ant, *Cataglyphis floricola* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 20: 315-319.
- CERDÁ, X., RETANA, J., CARPINTERO, S. & CROS, S. 1996. An unusual ant diet: *Cataglyphis floricola* feeding on petals. *Insectes Sociaux* 43: 101-104.
- CERDÁ, X., RETANA, J. & CROS, S. 1997. Thermal disruption of transitive hierarchies in Mediterranean ant communities. *Journal of Animal Ecology* 66: 363-374.
- CERDÁ, X., RETANA, J. & MANZANEDA, A. 1998a. The role of competition by dominants and temperature in the foraging of subordinate species in Mediterranean ant communities. *Oecologia* 117: 404-412.
- CERDÁ, X., RETANA, J. & CROS, S. 1998b. Critical thermal limits in Mediterranean ant species: trade-off between mortality risk and foraging performance. *Functional Ecology* 12: 45-55.
- CHRISTIAN, C.E. 2001. Consequences of a biological invasion reveal the importance of mutualism for plant communities. *Nature* 413: 635-639.
- COLE, F.R., MEDEIROS, A.C., LOOPE, L.L. & ZUEHLKE, W.W. 1992. Effects of the Argentine ant on arthropod fauna of hawaiian high-elevation shrubland. *Ecology* 73: 1313-1322.
- DUNN, R.R. 2000 Isolated trees as foci of diversity in active and fallow fields. *Biological Conservation* 95: 317-321.
- FORYS, E.A., ALLEN, C.R. & WOJCIK, D.P. 2002 Influence of the proximity and amount of human development and roads on the occurrence of the red imported fire ant in the lower Florida Keys. *Biological Conservation* 108: 27-33.
- GIRAUD, T., PEDERSEN, J.S. & KELLER, L. 2002 Evolution of supercolonies: the Argentine ants of Southern Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99:6075-6079.
- GÓMEZ, C. & OLIVERAS, J. 2003 Can the Argentine ant (*Linepithema humile* Mayr) replace native ants in myrmecochory? *Acta Oecologica* 24: 47-53.
- GÓMEZ, C., PONS, P. & BAS, J.M. 2003. Effects of the Argentine ant *Linepithema humile* on seed dispersal and seedling emergence of *Rhamnus alaternus*. *Ecography* 26: 532-538.
- GOTELLI, N.J. & ARNETT, A.E. 2000. Biogeographic effects of red fire ant invasion. *Ecology Letters* 3: 257-261.
- GOVE, A.D. & MAJER, J.D. 2006 Do isolated trees encourage arboreal ant foraging at ground-level? Quantification of ant activity and the influence of season, in Veracruz, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113: 272-276.
- HASKINS, C.P. & HASKINS, E.F. 1988. Final observations on *Pheidole megacephala* and *Iridomyrmex humilis* in Bermuda. *Psyche* 95: 177-184.

- HEE, J.J., HOLWAY, D.A., SUÁREZ, A.V. & CASE, T.J. 2000. Role of proagule size in the success of incipient colonies of the invasive Argentine ant. *Conservation Biology* 14: 559-563.
- HELLER, N.E. & GORDON, D.M. 2006. Seasonal spatial dynamics and causes of nest movement in colonies of the invasive Argentine ant (*Linepithema humile*). *Ecological Entomology* 31: 499-510.
- HOLWAY, D.A. 2005 Edge effects of an invasive species across a natural ecological boundary. *Biological Conservation* 121:561-567.
- HOLWAY, D.A. & SUAREZ, A.V. 2006. Homogenization of ant communities in mediterranean California: the effects of urbanization and invasion. *Biological Conservation* 127: 319-326.
- LIEBERBERG, I. & KRANZ, P.M. 1975. Bermudan ants revisited: the status and interaction of *Pheidole megacephala* and *Iridomyrmex humilis*. *Ecology* 56: 473-478.
- MAJER, J.D. & DELABIE, J.H.C. 1999 Impact of tree isolation on arboreal and ground ant communities in cleared pasture in the Atlantic rain forest region of Bahia, Brazil. *Insectes Sociaux* 46: 281-290.
- PHILLIPS, P.A., BEKEY, R.S. & GOODALL, G.E. 1987. Argentine ant management in cherimoyas. *California Agriculture* 41: 8-9.
- PHILLIPS, P.A. & SHERK, C.J. 1991. To control mealybugs, stop honeydew-seeking ants. *California Agriculture* 45: 26-28.
- PORTER, S.D. & SAVIGNANO, D.A. 1990. Invasion of polygyne fire ants decimates native ants and disrupts arthropod community. *Ecology* 71: 2095-2106.
- RETANA, J. & CERDÁ, X. 2000. Patterns of diversity and composition of Mediterranean ground ant communities tracking spatial and temporal variability in the thermal environment. *Oecologia* 123: 436-444.
- REYES-LÓPEZ, J., RUIZ, N. & FERNÁNDEZ-HAEGER, J. 2003 Community structure of ground-ants: the role of single trees in a Mediterranean pastureland. *Acta Oecologica* 24: 195-202.
- SANDERS, N.J., GOTELLI, N.J., HELLER, N.E. & GORDON, D.M. 2003. Community disassembly by an invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100: 2474-2477.
- STRAUSS, E. 1998. Mutual nonaggression pact may aid ant spread. *Science* 282: 854-855.
- SUÁREZ, A.V., TSUTSUI, N.D., HOLWAY, D.A. & CASE, T.J. 1999. Behavioral and genetic differentiation between native and introduced populations of the Argentine ant. *Biological Invasions* 1: 43-53.
- SUÁREZ, A.V., RICHMOND, J.Q. & CASE, T.J. 2000. Prey selection in horned lizards following the invasion of Argentine ants in southern California. *Ecological Applications* 10: 711-725.
- TINAUT, A. 1993. *Cataglyphis floricola* nov.sp. new species for the genus *Cataglyphis* Förster, 1850 (Hymenoptera, Formicidae) in the Iberian Peninsula. *Bulletin Société Entomologique Suisse* 66: 123-134.
- UNDERWOOD, E.C. & FISHER, B.L. 2006 The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how. *Biological Conservation* 132:166-182.
- VANDERWOUDE, C., LOBRY DE BRUYN, L.A. & HOUSE, A.P.N. 2000. Response of an open-forest ant community to invasion by the introduced ant, *Pheidole megacephala*. *Austral Ecology* 25: 253-259.
- WILSON, E.O. 1990. Success and Dominance in Ecosystems: the Case of the Social Insects. Series Excellence in Ecology 2, 104 pp. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe.

**Apéndice 1.** Situación de las zonas de muestreo de hormigas en la Reserva Biológica de Doñana. Se indican las coordenadas UTM (siempre en la cuadrícula 29s) del inicio del transecto, así como el número de trampas y cebos por transecto colocados en cada zona. n: no se pusieron cebos.

**Appendix 1.** Ant sampling sites in Doñana Biological Reserve. UTM coordinates (always within 29s) of each transect starting point, and number of pit-fall traps and baits per transect in each study site are indicated. n: no bait transect.

HABITAT	Lugar	Abreviatura	Coord. UTM (29s)	Trampas	Cebos
HABITAT	Site	Abbreviation	UTM Coord. (29s)	Pitfall	Baits
Humanizado <i>Human settlement</i>	Casa del Control	CCO	0717621 - 4100362 0717616 - 4100358	28 x 2	n
	Chalet	CH	0727811 - 4096762 0727810 - 4096756	28 x 2	n
	Casa de Sta. Olalla	CSO	0724165 - 4096569 0724140 - 4096529	28 x 2	n
	Casa del Martinazo	MZ	0726984 - 4100486 0727005 - 4100495	28 x 2	24 x 2
	Jaulón del linco	JL	0727238 - 4097493 0727250 - 4097503	28 x 2	24 x 2
Sabinar <i>Savin Juniper forest</i>	Sabinar del Marqués	SM 1	0719681 - 4099682 0719625 - 4099640	1 x 2	24 x 2
	Sabinar del Marqués	SM 2	0719554 - 4099603 0719588 - 4099571	21 x 2	24 x 2
Pinar <i>Pine tree forest</i>	Pinar de la Porquera	PPO	0725076 - 4097361 0725064 - 4097368	1 x 2	n
	Pinar del Martinazo	PMZ	0727011 - 4100236 0726901 - 4100355	21 x 2	n
	Pinar de San Agustín	PSA 1	0726738 - 4097191 0726801 - 4097160	21 x 2	24 x 2
	Pinar de San Agustín	PSA 2	0726777 - 4097125 0726747 - 4097083	21 x 2	24 x 2
Monte Blanco <i>Dry shrub</i>	Cerca antena C3	MB 1	0726429 - 4098178	21	n
	Junto antena C3	MB 2	0726469 - 4098146 0726490 - 4098118	21 x 2	24 x 2
	Raya de las Perdices	MB 3	0727130 - 4099931 0727117 - 4099932	21 x 2	24 x 2
Monte Negro <i>Wet shrub</i>	Cerca antena C3	MN 1	0726873 - 4097753 0726850 - 4097772	21 x 2	n
	Punto 54 pista	MN 2	0725040 - 4096717 0725040 - 4096725	21 x 2	n
Dunas <i>Dunes</i>	Después de la Parada	DU 1	0723106 - 4095396 0723090 - 4095321	21 x 2	n
	Después de la Parada	DU 2	0722983 - 4095302 0722960 - 4095321	21 x 2	n
Corrales "Corrales" (between dunes)	La Parada	CO 1	0723099 - 4095263 0723102 - 4095250	21 x 2	n
	La Parada	CO 2	0722968 - 4095198 0722951 - 4095166	21 x 2	n
Alcornosques <i>Cork oak trees</i>	# 262	ALC 1	0726409 - 4098196	21 X 3	n
	# 206, # 207	ALC 2	0726911 - 4097237	21 x 2	n
	# 308	ALC 3	0725897 - 4096510	21 x 2	n
	# 319	ALC 4	0725163 - 4095942	21 x 2	n
	# 314	ALC 5	0725503 - 4097120	21 x 2	n

