

La tesis doctoral está enmarcada en el proyecto del Programa de Generación del Conocimiento titulado “Efectos ecosistémicos del fuego a corto y medio plazo. Artrópodos, mamíferos, plantas y suelo. ¿Resiliencia mediterránea?” del que como IPs Xim Cerdá (EBD-CSIC, xim@ebd.csic.es) y Francisco M. Azcárate (UAM, fm.azcarate@uam.es). Dentro del contexto general del proyecto, la tesis se va a centrar en las hormigas como sistema de estudio y en cómo el fuego afecta la organización de sus comunidades, a su participación en las redes tróficas y en las funciones ecosistémicas.

Zonas de trabajo: la tesis se realizará en dos zonas geográficas de la Península Ibérica, el sistema Central y Andalucía. Se seleccionarán tres zonas de pinar del sistema Central que hayan sufrido el fuego recientemente y otras tres que se incendiaron hace más de 8 años; e igualmente, tres pinares quemados recientemente y otros tres hace más de 8 años en las sierras de Huelva y Málaga. Por otra parte, también se trabajará en la Reserva Biológica de Doñana, en diferentes parcelas de matorral (100 x 100 m) que fueron sometidas a quemas prescritas en 2020, 2021, 2022 y es de esperar que también en 2023.

La tesis combinará análisis ecológicos y comportamentales, con aproximaciones observaciones y experimentales, para responder a una serie de preguntas que serían los objetivos específicos de la tesis:

OBJ 1. ¿Hay un efecto de la edad o de la localización geográfica del incendio sobre la **organización, estructura y funcionalidad de las comunidades de hormigas**? (Riqueza y abundancia de especies, diversidad funcional, resiliencia, relaciones interespecíficas de dominancia).

OBJ 2. ¿Influye de manera diferente la **presencia de hormigueros sobre las propiedades físico-químicas de los suelos quemados** y no quemados? (pedoturbación, bioporosidad, contenido en elementos minerales y nutrientes) ¿Depende este efecto de las especies de hormigas?

OBJ 3. Tras el fuego, ¿se modifica la participación de las **hormigas en las distintas interacciones tróficas** (reducción de la herbivoría/depredación, carroñeo, depredación/dispersión de semillas)? ¿Influye la edad desde el incendio sobre estas modificaciones?

OBJ 4. ¿Participan las hormigas en algunos procesos de **regeneración de la vegetación tras el fuego**? (dispersión de semillas, germinación/reclutamiento de plántulas alrededor de los hormigueros) ¿Varía esta participación según el tiempo pasado desde el incendio?

Preferiblemente, el alumno realizará su tesis como parte del Programa de Doctorado en Ecología del Departamento de Ecología de la UAM (Madrid) (<https://www.uam.es/Ciencias/DECO-Doctorado-en-Ecologia/1242685647781.htm?language=es&nodepath=Doctorado%20en%20Ecolog%C3%ADa>).

Puesto que tendrá que participar activamente en campañas de campo en Andalucía, se espera que el estudiante pase largos periodos de tiempo en la EBD (Sevilla) y la Reserva Biológica de Doñana (Huelva). También se considerarán otras estancias en centros de investigación nacionales (CREAF-UAB e INIA Forest Lab) e internacionales (Kate Parr Lab, Universidad de Liverpool; Carlos P. Carmona, Macroecology Workgroup, Tartu University) para mejorar las habilidades analíticas del estudiante.

Un resumen gráfico del proyecto de investigación de tesis (11 diapos; 16Mb) se puede descargar en:

https://docs.google.com/presentation/d/115JBkZYDWTWKTjHMCD08NyPX_rk8CylJ/edit?usp=sharing&oid=109696177785930533860&rtpof=true&sd=true

ALGUNAS DE LAS TAREAS A DESARROLLAR DURANTE LA TESIS DOCTORAL

Tarea 0 - Selección y caracterización de las zonas de estudio.

Aunque ya están parcialmente seleccionados los incendios (véase resumen gráfico), deberán seleccionarse las parcelas de estudio, mediante visitas al campo. En todos los incendios deberán seleccionarse 4 parcelas quemadas (de 200x200 m) y en una zona de características similares pero no quemada, otras 4 parcelas control (de 200x200 m).

Las parcelas de quemas prescritas de la Reserva Biológica de Doñana ya están seleccionadas.

Se realizará una **caracterización de la vegetación** de todas las parcelas de estudio mediante el uso de drones equipados con cámara multiespectral. También se estimará indirectamente la productividad vegetal a partir del NDVI y de índices climáticos.

En cada parcela de las quemas prescritas de Doñana se muestreará la vegetación en 6 cuadrados pequeños (5x5 m), donde se estimará la cobertura de todas las especies de plantas vasculares (0-100%), y la cobertura de cada especie asignándoles un valor del 0 al 5 según su abundancia (0 - no presente; 1 - menos del 5%; 2 - 5-25%; 3 - 25-50%; 4 - 50-75%; 5 - más del 75%).

Se calcularán los **cambios espacio-temporales de la vegetación** y la **resiliencia** absoluta y relativa de la cobertura siguiendo a Paniw et al (2021, J Ecol 109). También se calculará la resiliencia de la composición taxonómica comparando las distancias en el espacio de ordenación del NMDS realizado con la matriz de abundancias relativas).

Las observaciones y experimentos con hormigas se realizarán en **dos períodos del año** evitando los meses más calurosos (principio de primavera, abril-mayo; y final de primavera, final de mayo-mitad de junio). Como no será posible realizar los muestreos en las 12 zonas de estudio durante el mismo año, se muestrearán 6 incendios el primer año y otros 6 incendios en el segundo año de tesis.

El estudiante realizará los muestreos acompañado siempre por **un técnico de campo** contratado a cargo del proyecto, y cuando sea posible por alguno de los co-directores (por lo menos durante los primeros muestreos).

Tarea 1 - Riqueza específica y abundancia de hormigas.

Se utilizarán dos métodos complementarios para obtener datos con los que calcular la **resiliencia** de la composición taxonómica (de forma similar a la de la vegetación):

1.1 En cada parcela de estudio se dispondrán 20 trampas de caída con agua jabonosa (vasitos de plástico de 20cl, transecto lineal de ~190 m, separación entre trampas 10 m) que se vaciarán cada 4 horas (8-12h, 12-16h, 16-20h) y se dejarán toda la noche (20h-8h). Estas trampas se pondrán durante tres días consecutivos (los mismos que para las observaciones en cebos).

1.2 Igualmente, en cada una de las mismas parcelas, se dispondrán 12 trampas más pequeñas (30 ml; en una cuadrícula de 20 x 15 m) que se dejarán 7 días.

Tarea 2 - Cambios en los niveles tróficos.

Puesto que el fuego suele tener mayor efecto sobre herbívoros que detritívoros (carroñeros) o carnívoros (depredadores), los gremios de artrópodos sufrirán un efecto diferente según sus rasgos de vida (p.e. de nidificación o de hábitos alimenticios). De las trampas de la Tarea 1 Azcárate&Seoane

(que se dejan 7 días) se identificarán todos los artrópodos si es posible hasta familia o incluso más y se clasificarán (de acuerdo con la literatura) en las principales categorías tróficas (carnívoro, herbívoro, omnívoro o detritívoro). Se analizarán los cambios en biomasa (peso medio de cada grupo x nº de capturas de ese grupo) de cada categoría trófica a lo largo del tiempo (en las parcelas de quemas prescritas: antes del fuego, una semana después, en la siguiente primavera y verano y al segundo año). La idea es ver si algunos niveles tróficos sufren más los efectos del fuego y otros se recuperan más rápido después del fuego.

Tarea 3 - Diversidad funcional de los ensamblajes de hormigas.

El efecto potencial de la pérdida de biodiversidad en el funcionamiento de los ecosistemas depende en gran medida de la pérdida asociada en la diversidad funcional de los ensamblajes de hormigas, es decir, del grado de redundancia funcional entre las especies. Para evaluar la diversidad funcional de las comunidades de hormigas, cada especie de hormiga (de la tarea 1) se caracterizará por 6 rasgos de vida (polimorfismo, poligamia, uso de pistas durante la búsqueda de alimento, categoría trófica, estrategia de búsqueda de alimento, tamaño de la colonia) y 4 rasgos morfológicos (tamaño del cuerpo, tamaño de la cabeza, longitud de tibia III, longitud de ojo). Los rasgos de vida se obtendrán de la literatura o de bases de datos. Los rasgos morfológicos se medirán de forma independiente para cada especie y localidad, para estimar la variabilidad fenotípica. La diversidad funcional y la composición se basarán en las capturas de la tarea 1. Se realizarán mediciones en 10 obreras (elegidas al azar) entre las hormigas capturadas en cada localidad. A partir de estos datos, se calcularán en cada parcela los rasgos medios ponderados de la comunidad (CWM) y la diversidad funcional (FD). Examinaremos si el fuego, y el tiempo desde el fuego (posible gradiente de hábitat) tiene un efecto sobre CWM y FD a través de modelos no lineales (GAM), examinaremos las hipótesis de similitud limitante, exclusión competitiva, facilitación y aleatoriedad.

Tarea 4 - Observaciones en cebos: dominancia y temperatura óptima.

En cada parcela de estudio se colocará un transecto con cebos con alimento (una fuente azucarada: miel diluida, otra con semillas de sésamo y otra proteica: atún) para analizar las interacciones interespecíficas entre las hormigas. Estos cebos se pondrán durante tres días consecutivos en tres períodos del día sometidos a muy diferente régimen térmico (tres horas por la mañana, tres a mediodía, y otras tres por la tarde/noche). Cada hora de muestreo se registrará la temperatura del suelo (medida con un termómetro digital IR), el número de obreras, las especies y las interacciones observadas en cada cebo. A partir de la observación de las interacciones, calcularemos el índice de dominancia (ID) como el número de encuentros ganados (sustitución en el cebo de una especie por otra) sobre el total de encuentros interespecíficos. También podremos estimar la Temperatura óptima o de Máxima (MAT ó T_{opt}) de cada especie, que es aquella temperatura a la que la actividad de la especie (medida como número de cebos ocupados) es máxima. Así, en cada zona de muestreo podremos calcular la relación entre la dominancia (ID) y la temperatura óptima (T_{opt}) de cada especie y comprobar si existe un trade-off dominancia - preferencia térmica.

Tarea 5 - Caracterización del suelo y efecto de los hormigueros.

Se tomarán **muestras de suelo** para los análisis pertinentes (ver más abajo), en las parcelas quemadas y no quemadas, y dentro de las mismas tomaremos muestras apareadas una cerca de un nido de hormigas granívoras (género *Messor*, hacen grandes nidos) y otra fuera de su zona de influencia (a más de 10m del nido).

To assess PyOM and soil carbon stocks elemental following physico-chemical and physical properties over the first layer of the soil will be characterized: pH, total porosity, water-filled pore

space (WFPS), bulk density, total C and N, hot water soluble carbon (HWOC), total dissolved organic carbon (DOC), Dissolved Organic Nitrogen (DON), Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN), total dissolved nitrogen (TDN), exchangeable cations, mineral and organic characterization by DRX, TG-DSC and FTIR.

[**Pendiente** describir la metodología para la bio-porosidad y pedoturbación **por** los hormigueros]

Tarea 6 - Patrones de las interacciones tróficas.

En cada parcela de estudio se estimará la intensidad de la granivoría por hormigas mediante dos métodos: 1) a partir de las tasas de descubrimiento y recolección de los cebos con semillas de sésamo (Tarea 4); 2) utilizando el mismo protocolo de la Tarea 4, pero ofertando semillas de diferentes tamaños (mezcla de semillas para pájaros + mezcla de semillas de césped); 3) estimando la abundancia de hormigas granívoras a partir de las capturas en las pitfall de la Tarea 1.

En cuanto al carroñeo (eficacia de las hormigas en los procesos de reciclaje de los cadáveres), se estimará utilizando el mismo protocolo de la Tarea 4, pero colocando cebos con cadáveres de insectos de tres tamaños diferentes (pequeño: *Drosophila*; mediano: grillo pequeño; grande: grillo grande)

Para la depredación usaremos presas vivas adquiridas comercialmente para una medición estandarizada de la depredación por parte de hormigas, siguiendo los métodos de Oliveira [1997; *Funct Ecol* 11:323-330] y Fagundes et al [2017; *Biol J Linn Soc*, 122:71-83]. Las presas se pegarán a una piedra y luego se registrarán los encuentros entre presa y hormigas, así como la respuesta conductual de las hormigas (ataque, reclutamiento, duración de la interacción, etc.).