

## **Convocatoria de ayuda a proyectos de investigación liderados por jóvenes investigadores (5ª ed., 2015)**

### **1. Datos de identificación.**

|                               |                                                                                                                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Título de la propuesta</b> | La mejora del estado nutricional foliar en altitud: un factor obviado que podría facilitar la migración altitudinal de las especies |
| <b>Categoría</b>              | Tomando la Iniciativa                                                                                                               |
|                               |                                                                                                                                     |
|                               |                                                                                                                                     |
|                               |                                                                                                                                     |
|                               |                                                                                                                                     |

### **2. Memoria Técnica. Actividades y resultados de investigación**

#### **2.1. Introducción (Planteamiento, objetivos y justificación)**

**Planteamiento.** El aumento de las temperaturas y la reducción de la precipitación en ambientes montañosos mediterráneos que se están produciendo debido al cambio climático (IPCC 2012) están generando el ascenso del rango potencial de distribución altitudinal de muchas especies de plantas (Kelly and Goulden 2008, Matías and Jump 2014). Sin embargo, la colonización de zonas más elevadas se ve limitada por diversos filtros demográficos relacionados con la dispersión, la competencia con individuos ya establecidos, etc. (Jump et al. 2009, Grassein et al. 2014). Por el contrario, poco se sabe acerca de posibles mecanismos que puedan favorecer este proceso. En un estudio previo en Sierra Nevada (Leverkus et al. 2015) se halló que el desarrollo de plantones de roble melojo y encina se vio favorecido por encima de su distribución altitudinal actual y que la mejora del estatus hídrico foliar de los plantones a mayor altitud se correlacionaba positivamente con una mejora en su estado de nutrición foliar. Dado que la mejora nutricional a mayor altitud es un patrón observado globalmente (Körner 1989, Reich and Oleksyn 2004), se plantea que este patrón podría

representar un mecanismo que favorezca la colonización de zonas más elevadas bajo un escenario de cambio climático.

**Objetivos.** Este proyecto buscó evaluar si la mejora de la nutrición foliar a mayor altitud puede suponer un mecanismo natural que favorezca el ascenso del rango altitudinal observado de las plantas a la vez que asciende su rango potencial debido al cambio climático. Para ello se analizó el éxito en cuanto a supervivencia, crecimiento y estado hídrico y nutricional foliar de plántulas de encina situadas a distintas altitudes en un sistema montañoso, con y sin adición de fertilizante y con y sin riego. Se plantearon las hipótesis de que:

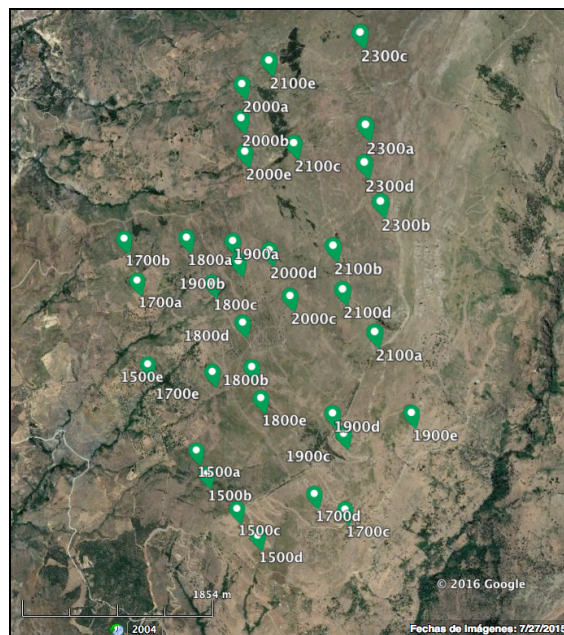
- 1) El patrón altitudinal de la supervivencia y el crecimiento de las plántulas están correlacionados con un patrón similar en el estado de nutrición foliar de las plantas.
- 2) La adición de fertilizantes mejora el estado nutricional e hídrico y la supervivencia de las plantas en todo el rango altitudinal del experimento.
- 3) El riego tiene un efecto similar al de la fertilización foliar: un incremento de la supervivencia de las plantas y disminución del estrés hídrico.

**Justificación.** Este trabajo tiene interés teórico para comprender un posible mecanismo, hasta ahora obviado, que podría afectar la migración altitudinal de las especies de plantas con el cambio climático. Sin embargo, dados los grandes retos prácticos derivados del cambio climático, el mayor interés radica en aspectos aplicados de manejo y gestión de ecosistemas con vistas al futuro.

## 2.2. Descripción de la ejecución- Metodología

Se realizó un experimento de siembra de bellotas en el Espacio Natural Protegido de Sierra Nevada con el fin de testar el efecto de a) la altitud, b) la adición de fertilizantes foliares y c) el riego sobre diversos parámetros relacionados con el éxito del reclutamiento de la encina, *Quercus ilex* subsp. *ballota*.

La siembra se realizó a principios de 2016 en 34 parcelas de siembra localizados en la loma de Lanjarón (Figura 1). La localización de los puntos se eligió por la disponibilidad de una red de caminos a través de un amplio gradiente altitudinal y por la ausencia de pastoreo. La vegetación en cada punto de siembra es predominantemente de matorral/herbazal, en gran medida resultado de la regeneración natural después del incendio de Lanjarón de 2005. Los suelos de las parcelas son silíceos, procedentes de micaesquistos del complejo Nevado-Filábride, y la orientación es predominantemente SO. El clima de la zona es mediterráneo, con veranos calurosos y secos e inviernos húmedos y templados. La precipitación media anual registrada a 1500 m s.n.m es de 501+/-49 mm (1988-2011), con incremento en las precipitaciones y reducción en las temperaturas conforme se asciende.



**Figura 1.** Localización de los puntos de siembra en la Loma de Lanjarón. Los números corresponden con la altitud de cada punto. La imagen está orientada al norte.

En febrero de 2016 se sembraron 1088 bellotas, previamente pesadas, distribuidas en 5 parcelas de siembra en cada una de 7 cotas altitudinales (1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2300 m s.n.m; a esta última cota solamente se instalaron 4 parcelas). En cada parcela se sembraron 32 bellotas, la mitad de las cuales estaban protegidas de la depredación por pequeños mamíferos mediante el dispositivo *seed shelter* (Castro et al. 2015). Se revisó la emergencia de plántulas en mayo, junio y a principios de julio. El 7 de julio se midió la altura y el diámetro inicial del tallo y se aplicó de manera factorial la adición de nutrientes foliares y el

riego a las plantas emergidas (en ambos casos tratamiento y control). Para los nutrientes se utilizó una mezcla comercial (Startfol, comercializado por Nufol Nutrientes Foliare S.A.). Para el riego se colocó un anillo semienterrado de 20 cm de diámetro alrededor de cada planta, donde se aplicaron 2L de agua hasta que ésta se hubo infiltrado. El 3 y 4 de agosto se monitoreó la supervivencia de todas las plantas, se realizó una nueva medición de altura y diámetro del tallo y se volvió a aplicar el tratamiento de nutrientes y riego. El 14 de septiembre se realizó el monitoreo final de la supervivencia de las plantas, se midió de nuevo la altura y el diámetro del tallo y se cosecharon todas las plantas. Las mismas se llevaron al laboratorio, donde se secaron en horno a 80°C durante una semana y posteriormente se pesó su biomasa de tallo y hojas por separado. Las hojas fueron finamente molidas y encapsuladas en el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (Cebas-CSIC, Murcia) y enviadas al laboratorio de isótopos estables de la Universidad de California, Berkeley, para análisis de concentraciones foliares de C y N y de las ratios isotópicas de d13C, d15N y d18O. Otras muestras de todas las plantas permanecieron en el CEBAS para realizar análisis multielementales foliares.

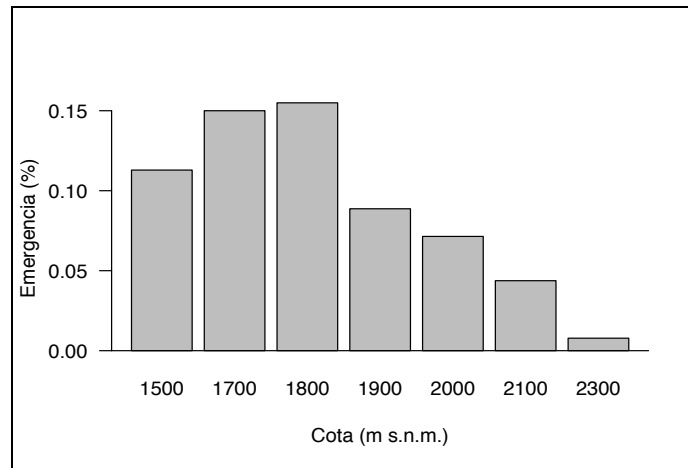
### **2.3. Resultados obtenidos (cumplimiento de objetivos)**

#### **Resultados obtenidos**

En este estudio monitorearon diversos parámetros demográficos de la encina desde el momento de siembra hasta el final del primer verano, así como parámetros ecofisiológicos de los individuos medidos después del verano.

1. Supervivencia a la depredación y emergencia. Las bellotas no sufrieron de depredación por micromamíferos. Sin embargo, hubo un 21,6% de depredación por jabalí, sin que los protectores *seed shelter* redujesen este porcentaje. La depredación de bellotas fue ligeramente mayor a mayor peso de las bellotas y varió a lo largo del gradiente altitudinal: la mayor depredación (~60%) se concentró a 1800 m, mientras que se hallaron unos niveles intermedios (~20%) a 1500, 1700, 1900 y 2000 m y 0% a 2100 y 2300 m. La emergencia de las bellotas no depredadas fue muy baja, probablemente debido al retraso en la fecha de siembra. El peso de la bellota afectó la probabilidad de emergencia (peso medio de no emergidas: 4,96 g; emergidas: 5,82 g). La emergencia también varió a lo largo del gradiente altitudinal, pero no

mostró un patrón que revele claramente un ascenso altitudinal en el nicho de regeneración de la especie (Fig. 2).



**Figura 2.** Emergencia de las plántulas a lo largo del gradiente altitudinal.

2. **Supervivencia de las plántulas.** Del total de plántulas emergidas, 41% sobrevivió hasta el muestreo final de septiembre. La supervivencia mínima se encontró en los extremos del gradiente altitudinal (0% a 2300m, n= 1; 14% a 1500m, n= 14) y rondó entre 35% y 83% en las cotas intermedias. La fertilización foliar duplicó las probabilidades de supervivencia (de 30% sin fertilizante a 58% con fertilizante) y no hubo un efecto significativo del riego.
3. **Crecimiento (tamaño y biomasa).** El tamaño alcanzado por las plantas en septiembre estuvo condicionado por varios factores. El diámetro alcanzado en septiembre por las plantas que sobrevivieron hasta este mes estuvo positivamente afectado por el riego y el peso de la bellota y negativamente por la cota. La altura final de los tallos se vio afectada solamente por la cota: la altura media máxima fue alcanzada a 1500 m y la mínima a 2100 m. El peso de los tallos fue mayor a mayor peso de la bellota y a menor cota. El peso de las hojas de plantas fertilizadas duplicó el peso alcanzado por plantas no fertilizadas y también estuvo afectado por el peso de la bellota.
4. **Nutrición y estrés hídrico.** Las plantas localizadas a mayor altitud mostraron una mayor concentración de N. Sin embargo, las plantas fertilizadas no mostraron este efecto de la altitud. La fertilización foliar aumentó la concentración de

C en las hojas, pero no la de N. Finalmente, los datos de isótopos estables muestran que la mortalidad de las plantas se debió al estrés hídrico durante el verano. Las plantas emergidas de bellota en un *seed shelter*, las plantas regadas y las plantas fertilizadas sufrieron un menor estrés hídrico que los respectivos controles.

#### **Cumplimiento de objetivos.**

Se han cumplido satisfactoriamente los objetivos propuestos. Este estudio ha contribuido a la comprensión de la estrecha relación entre la nutrición de las plantas, la altitud a la que se encuentran y el crecimiento, supervivencia y estado hídrico de las plantas. Asimismo, con los resultados obtenidos es posible establecer pautas de manejo que favorezcan la regeneración asistida y la supervivencia de las plantas a la sequía estival.

#### **2.4. Conclusiones y valoración de la ejecución**

##### **Conclusiones**

Se ha obtenido que la fertilización foliar de la encina ha supuesto una reducción de la mortalidad, un mayor crecimiento en biomasa, un menor estrés hídrico y una menor susceptibilidad de la nutrición foliar y la eficiencia en el uso de agua a los efectos de los gradientes ambientales naturales (en este caso el gradiente altitudinal). La mejora en la nutrición de la planta genera, por tanto, un aumento en el éxito de regeneración de la encina, tanto natural como asistida, a lo largo de gradientes ambientales. Cabe destacar que la fertilización foliar tuvo efectos mucho más evidentes que el riego, con lo cual se plantea la necesidad de investigar más a fondo si el riego de las plantas, una acción costosa y logísticamente complicada, puede sustituirse al menos parcialmente por la aplicación de pequeñas cantidades de fertilizantes para mejorar el éxito de las repoblaciones.

##### **Valoración de la ejecución**

La ejecución del proyecto y los resultados obtenidos son satisfactorios, a pesar de que el estudio no estuvo exento de dificultades.

1. Se cambió la especie de estudio debido a la indisponibilidad de bellotas de *Quercus pyrenaica* durante el año de estudio. La decisión de estudiar la encina vino motivada por el hecho de que esta especie mostró respuestas a la altitud parecidas a las que mostró el roble melojo en un estudio anterior que motivó el planteamiento de la hipótesis central de este

trabajo (Leverkus et al. 2015). Los resultados del experimento se valoran de forma satisfactoria a pesar del cambio de especie.

2. La depredación de bellotas y la baja tasa de germinación redujeron la cantidad de plantas disponibles para el estudio. Aun así, la gran cantidad de bellotas sembradas y su disposición espacial en 34 puntos de siembra diseminados por la zona de estudio aseguraron que suficientes plantas emergiesen para la realización de este pormenorizado estudio demográfico y los análisis ecofisiológicos a finales del verano.

En conclusión, la ejecución y los resultados del proyecto se valoran como un éxito.

#### **2.5. Publicaciones resultantes**

Actualmente se trabaja en la redacción de un manuscrito científico de cuya publicación se avisará a la AEET. Los resultados obtenidos se presentarán también en el próximo congreso de la AEET.

**3. Informe de gastos del proyecto.** Relación de partidas de gastos y sus importes (no hace falta que sea pormenorizada al detalle).

El importe del proyecto ha sido 100% destinado a cubrir los gastos directos de ejecución del proyecto. Como presupuestado en un inicio, cerca de un 90% del dinero se ha utilizado para cubrir los gastos de análisis de nutrientes e isótopos de las muestras y el importe restante ha cubierto los desplazamientos y el fertilizante foliar. El vehículo utilizado para el trabajo de campo fue puesto a disposición por el Departamento de Ecología de la Universidad de Granada.

| Concepto                                                                                                    | Presupuestado<br>(€) | Gastado<br>(€) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|
| Análisis $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ , %N, %C y envío de muestras | 1840                 | 1459,8         |
| Análisis multielemental ICP                                                                                 | -                    | 304,92         |
| Seed shelters                                                                                               | 0                    | 0              |
| Bellotas                                                                                                    | 0                    | 0              |
| Palos de madera para marcar                                                                                 | 0                    | 0              |
| Rotuladores                                                                                                 | 0                    | 0              |
| Gasoil para transporte a campo                                                                              | 160                  | 215,09         |
| Fertilizante foliar                                                                                         | -                    | 25,74          |
| <b>Total</b>                                                                                                | <b>2000</b>          | <b>2005,55</b> |