

Nº REFERENCIA:
CGL2004-04325



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO**

INFORME DE SEGUIMIENTO ANUAL

Investigador Principal: Juli García Pausas
Titulo del Proyecto: Variabilidad morfológica y funcional y capacidad de regeneración en <i>Quercus suber</i> (VARQUS)
Organismo: Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM)
Centro:
Departamento: Restauración Forestal
Fecha de inicio del proyecto: 13 Diciembre 2004
Fecha de finalización del proyecto: 12 Diciembre 2007

Fecha:

**SR. SUBDIRECTOR GENERAL DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
Paseo de la Castellana, 160. 28071 MADRID**

A. ACTIVIDADES REALIZADAS Y GRADO DE CONSECUCCIÓN DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

1. Describa brevemente las actividades realizadas en el pasado año de desarrollo del proyecto. Indique si existe algún resultado a que haya dado lugar el proyecto durante ese período.

Tarea 1. Variabilidad ambiental y de hábitat en poblaciones de *Quercus suber* en la costa mediterránea

El estudio de la variabilidad ambiental en poblaciones de alcornoque se realizó en Pinet (Valencia). Se ha seleccionado esta localidad por ser una de las poblaciones más pequeñas y marginales de alcornocal, y además por presentar características edáficas variadas, comparado con otros alcornocales (ver informe del 2005). En este alcornocal se han seleccionado un total de 140 polígonos (ver informe del 2005) de tal manera que cada polígono presenta condiciones aproximadamente homogéneas en sus condiciones ambientales (exposición, pendiente). Cada polígono tiene diferente tamaño y forma, y en cada uno de ellos se ha recogido 3 muestras de suelo. Además, para cada polígono se ha cuantificado la abundancia (número y área basal) de las diferentes especies de árboles (principalmente *Quercus suber* y *Pinus pinaster*), la densidad de regenerado, y las características topográficas.

Para el análisis, esta tarea se ha dividido en dos partes: la primera corresponde al estudio de la variabilidad de la regeneración según la variabilidad de las diferentes condiciones ambientales y de estructura de la vegetación. Este estudio se ha finalizado y publicado:

Pausas J.G., Ribeiro E., Dias S.G., Pons J. & Beseler C. 2006. Regeneration of a marginal Cork oak (*Quercus suber*) forest in the eastern Iberian Peninsula. *Journal of Vegetation Science* 17: 729-738.

La segunda parte corresponde a un análisis detallado de la variabilidad edáfica, estudio que se está desarrollando en la actualidad y se finalizará durante el 2007. Se ha realizado los análisis de pH y carbonatos, y están en curso los análisis de cationes. Los datos actualmente disponibles sugieren que el alcornoque aparece en un amplio rango de pH y carbonatos (Fig. 1), sin embargo, la abundancia (área basimétrica) decrece significativamente con el pH y los carbonatos (Fig. 1). Además, la variabilidad edáfica es mayor en polígonos con alcornoque respecto a los polígonos con ausencia de esta especie.

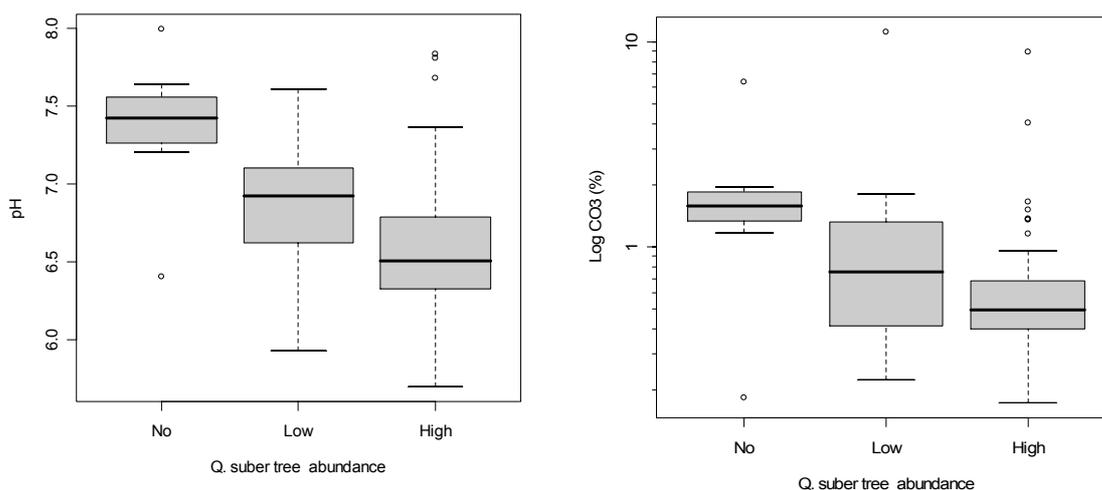


Figura 1. Relación entre la abundancia de *Q. suber* (clases de abundancia) y pH y carbonatos del suelo. En los dos casos las diferencias son significativas (ANOVA, $p < 0.0001$). Las clases de abundancia de *Q. suber* son: No (ausencia), Low (área basal $< 1 \text{ m}^2/\text{ha}$), High (área basal $> 1 \text{ m}^2/\text{ha}$).

Tarea 2. Variabilidad (espacial y temporal) en la producción de bellotas de *Quercus suber*, y sincronía con otras quercíneas.

Los datos de variabilidad espacial y temporal de la producción de bellotas está siendo actualmente analizada en detalle. Gracias al proyecto Europeo CREAOK (finalizado) y al presente proyecto (VARQUS), tenemos actualmente una serie de datos de producción de bellotas de 4 años (2003-2006), para 190 árboles de las tres zonas estudiadas (Espadà, Calderona y Pinet). El número de árboles se aumentó a 300 desde 2005 (con el inicio del presente proyecto). Los datos provisionales sugieren que hay mucha variabilidad árboles, entre zonas, y entre años (Fig. 2). El análisis de la varianza muestra relaciones significativas ($p < 0.001$) con el año, la Sierra, el área basimétrica de los árboles, y la interacción año x sierra.

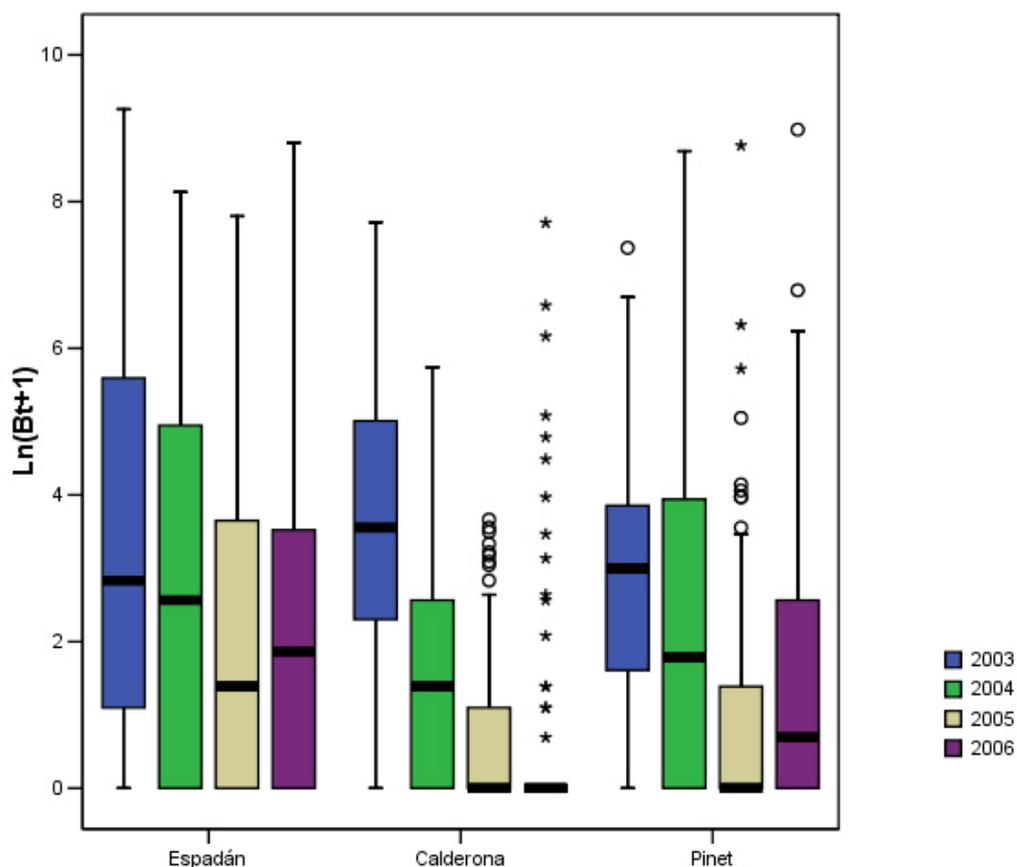


Figura 2. Producción de bellotas (expresado en logaritmo neperiano) en las tres sierras estudiadas durante 4 años (2003-2007). Se muestran la mediana, los cuartiles (25 y 75%, caja), los valores máximos (no atípicos, segmentos verticales) y valores extremos y atípicos.

Tarea 3. Características morfológicas y funcionales, y plasticidad de individuos adultos en *Quercus suber*.

Se han estudiado 15 individuos de 3 procedencias diferentes, todas ellas dentro de la distribución natural de *Quercus suber* en la Península Ibérica. De las 3 procedencias estudiadas, una corresponde a las poblaciones occidentales, Montes de Toledo; y las otras dos a las poblaciones orientales: Sierra de Calderona (Valencia) y Sierra de Espadà (Castellón). Ver informe año 2005.

Durante este año se ha analizado las relaciones existentes entre variables morfológicas de los árboles adultos (peso específico foliar, tamaño medio de hoja, relación entre superficie conductora de agua y área foliar) y el tamaño de las bellotas producidas en las poblaciones de

Calderona y Espadà. Globalmente, los resultados muestran baja correlación entre las diferentes variables morfológicas y el tamaño de las bellotas. Esto indicaría que las variables morfológicas relacionadas con el estado del árbol no tienen una gran capacidad predictora de la descendencia (tamaño de la bellota). En la figura 3 se muestra la relación entre el índice de Huber (cociente entre la superficie conductora del tallo y el área foliar sustentada) y el tamaño medio de las bellotas producidas ese año. Sin embargo, si separamos ambas poblaciones se observa que en la población de Espadà si que hay una elevada correlación inversa entre el índice de Huber y el tamaño de las bellotas (Figura 4); indicando que plantas con una menor capacidad de suministro de agua a las hojas (valores bajos del índice de Huber) producen bellotas mayores.

Dentro de las características morfológicas de los árboles maternos, también se ha analizado la relación entre el tamaño de los árboles madre, el tamaño de las bellotas en cada árbol y la relación con la descendencia (ver resultados Tarea 5).

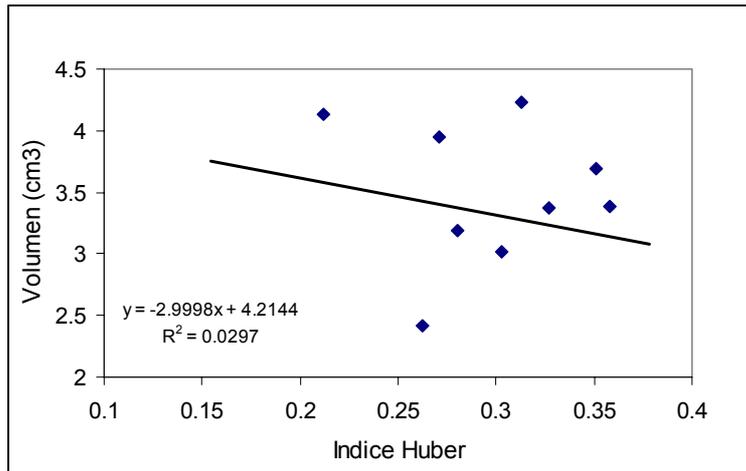


Figura 3. Relación entre el volumen de las bellotas y el índice de Huber para las poblaciones de Espadà y Calderona. El coeficiente de correlación no fue significativo ($p > 0.05$)

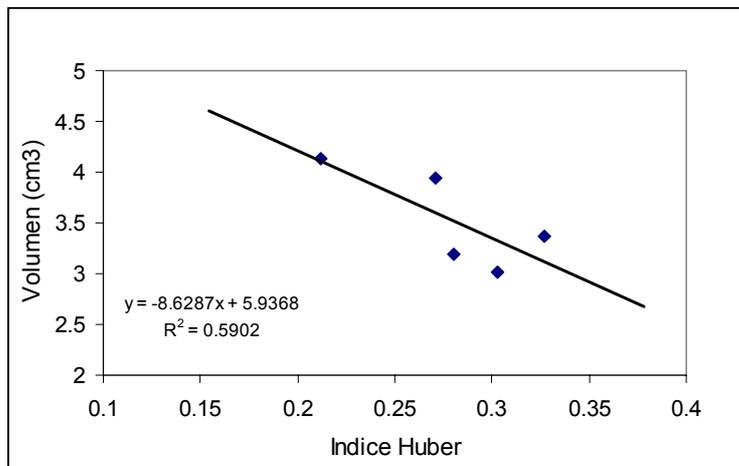


Figura 4. Relación entre el volumen de las bellotas y el índice de Huber para los cinco árboles maternos en la sierra de Espadà.

Tarea 4. Características morfológicas y funcionales y plasticidad de los brinzales en *Quercus suber*.

- Procedencia y plasticidad fenotípica

Durante 2006 hemos profundizado en el estudio de la variabilidad y la plasticidad fenotípica de los brinzales y de las bellotas de *Quercus suber*. Se han estudiado diferentes procedencias (escala poblacional y familiar) ibéricas de esta especie sometidas a diferentes factores de estrés.

Para analizar el efecto de la procedencia, familia y tratamiento sobre la plasticidad fenotípica, y evaluar la variación genética, se empleó un modelo lineal mixto, con el tratamiento como factor

fijo con 4 niveles y, como factores aleatorios, la familia y la procedencia. Se usaron ecuaciones de modelo mixto (MME) y método REML para calcular los componentes de varianza y el coeficiente aditivo genético de variación. Los componentes de varianza fueron calculados como porcentaje de varianza total para cada factor.

Solamente las variables morfológicas (LM, LA, FRB, BI, LN) mostraron diferencias significativas para el efecto del Tratamiento (Tabla 1). De las 15 variables estudiadas, 5 mostraron un efecto significativo del Tratamiento, 10 mostraron un efecto significativo del factor Familia, y 9 mostraron un efecto significativo de la interacción Familia x Tratamiento. No observamos diferencias significativas asociadas al factor Procedencia, ni a la interacción Procedencia x Tratamiento.

Tabla 1. Componentes de la varianza para efectos aleatorios expresados como porcentaje de la variación total, y significación de los efectos aleatorios y fijos en brizales de *Q. suber* sometidos a diferentes factores de estrés. σ^2_f , $\sigma^2_{f \times t}$, σ^2_p , $\sigma^2_{p \times t}$ corresponden a componentes de varianza para familia y procedencia, e interacciones de ambas con los tratamientos, respectivamente. Nivel de significación *0.05 > p > 0.01, **0.01 > p > 0.001, ***p < 0.001.

Variable		Componentes de varianza de los efectos aleatorios					P
		σ^2_f	$\sigma^2_{f \times t}$	σ^2_p	$\sigma^2_{p \times t}$	residuales	
Altura del tallo	H	15,8 *	12,0**	4,2	0,4	68,2	
Diámetro del cuello de la raíz	D	20,5 *	4,3	0,0	6,0	69,2	
Biomasa caulinar	SM	22,9 *	7,2 *	0,0	1,9	68,0	
Biomasa foliar	LM	18,4 *	8,8 **	0,0	0,0	72,8	**
Biomasa raíz principal	TRB	4,4 *	6,9 *	29,1	1,5	58,1	
Biomasa raíces secundarias	FRB	18,7 *	4,5 *	30,6	2,6	43,6	**
Biomasa total	TB	31,2 *	6,5 *	3,4	1,5	57,3	
Número de hojas	LN	12,4*	0,3	0,0	0,0	87,3	**
Área foliar	LA	17,7*	3,6	0,0	0,0	78,6	**
Índice de ramosidad	BI	9,0*	0,5	0,0	1,2	89,4	*
Concentración pigmentos	SPAD	2,6	1,2	0,0	0,0	96,2	
Conductancia estomática	Gs	6,3	11,8*	0,0	0,0	80,4	
Eficiencia fotoquímica alba	Fv/Fm _{pd}	5,2	20,9**	18,3	1,3	54,3	
Eficiencia fotoquímica mediodía	Fv/Fm _{md}	13,8	12,1*	7,2	0,0	66,9	

El efecto Familia fue significativo para todas las variables morfológicas estudiadas. La interacción Familia x Tratamiento fue significativa para la mayoría de las variables morfológicas, excluyendo LA, BI, LN. Todas las variables fisiológicas (excepto SPAD) también fueron significativas para esta interacción. La medida de SPAD fue la única variable que no mostró variación significativa asociada a los factores evaluados.

En los resultados de la morfología, los componentes de varianza asociados a la Familia variaron entre 4,4 y 31,2%. Estos valores siempre fueron superiores a los obtenidos en la interacción Familia x Tratamiento, a excepción de los resultados observados en la variable FRB. Las características de las raíces (TRB, FRB) mostraron valores altos (29-30%) asociados a la Procedencia (Tabla 1), y fueron superiores a los componentes de la Familia. En relación a las variables fisiológicas, hemos observado valores altos de las varianzas de la eficiencia fotoquímica alba correspondientes al factor Procedencia (18,3%).

- Respuesta fisiológica

El análisis de los resultados obtenidos muestran diferencias entre los tres orígenes estudiados (Espadà, Calderona y Toledo) cuando no se tiene en cuenta en el análisis estadístico en factor familia. En general, la población de Espadà y Calderona tienden a presentar respuestas fisiológicas similares. Sin embargo, la falta de patrones claros de respuesta no permite

observar una tendencia clara que muestre que los resultados a los tratamientos aplicados puedan ser más favorables para las poblaciones del País Valenciano (Espadà y Calderona).

Se observa que la población de Calderona mantiene una estrategia más conservadora del agua que Toledo, con menores valores globales de conductancia estomática, mientras que la población de Espadà muestra unos valores intermedios (Fig 5). Estos resultados estarían relacionados con el origen ya que poblaciones de ambientes más secos suelen mostrar estrategias más conservadoras de los recursos (Levitt, 1980; Gurevitch et al. 1986).

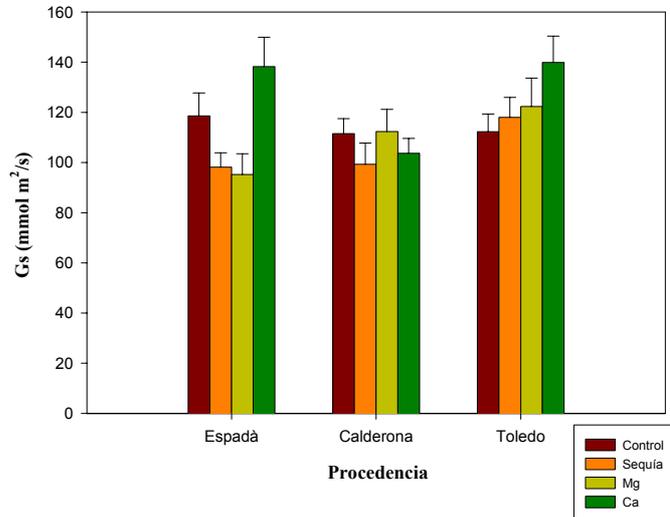


Figura 5. Conductancia estomática según procedencia y tratamientos aplicados en vivero (control, sequía, aplicación de magnesio, aplicación de calcio). El análisis de la varianza y posterior test post-hoc (SNK, $P < 0.05$) mostró diferencias entre orígenes (Calderona=Espadán<Espadán=Toledo) y tratamientos (Seq=Mg=Cont<Mg=Cont=Ca).

Con respecto a los diferentes tratamientos, cabe destacar, que las diferencias significativas observadas para los diferentes orígenes no permiten concluir que un tratamiento haya resultado más perjudicial o beneficioso que otro. El tratamiento con carbonato cálcico por ejemplo, no ha supuesto ningún perjuicio en la respuesta de las diferentes poblaciones. Este hecho puede deberse a que el periodo de aplicación de los tratamientos no fuera suficientemente largo o intenso, ya que estudios paralelos realizados dentro del proyecto CREOAK sometiendo plántulas a suelos carbonatados se ha observado que al cabo de un año las plantas llegan a desarrollar clorosis foliar en los plántulas tratados, perjudicando negativamente a sus respuestas ecofisiológicas.

- Relación entre el origen, la familia y la respuesta fisiológica a los tratamientos.

El estudio poblacional a nivel de familias, comparando individuos con una región de procedencia común, pero provenientes de familias distintas, muestra diferencias significativas entre familias dentro de cada origen. Es importante destacar que el factor origen cuando no se analiza el factor familia, apartado anterior, resultaba muy significativo, en el caso del análisis a nivel de familias deja de serlo para un número importante de variables. Sigue mostrando una tendencia a la significación, pero sin llegar a serlo. Dicha tendencia ocurre para las variables de peso específico foliar, SLW, contenido relativo hídrico, RWC, y eficiencia máxima del fotosistema, Fv/Fm.

Debemos destacar el alto nivel de significación en la interacción Tratamiento* Familia lo cual demuestra que, en este caso, es el hecho de que los individuos procedan de familias diferentes lo que hace que respondan de una manera u otra ante los diferentes tratamientos aplicados. La interacción entre familias y tratamientos, o genotipo (G) x ambiente (E) es muy importante en los estudios de plasticidad (Dudley, 2004). Este término es usado para analizar si diferentes genotipos responden de forma diferente a determinadas condiciones ambientales, así que es una medida de variación genética en plasticidad y sugiere la presencia de genotipos especializados en cada ambiente (Stratton, 1994). En este estudio la interacción

Origen*Tratamiento no obtuvo resultados significativos. Evidenciando así que la mayor diferenciación se encuentra a nivel de familia y no a nivel de procedencia.

Tarea 5. Relaciones adulto - brinzal

Los resultados de correlación entre parámetros de bellotas y brinzales de 10 meses (tratamiento control) se presentan en la Tabla 2. En el análisis estadístico para diámetro de bellotas en nivel familiar se encontraron fuertes diferencias significativas ($p < 0,001$). Por el contrario, las diferencias poblacionales se acercaron a un nivel de significación marginal ($p = 0,057$). Patrones similares fueron observados para la longitud de la bellota (Figura 6) aunque en este caso se observaron fuertes significaciones en el nivel familiar y diferencias significativas ($p = 0,027$) entre las poblaciones. El análisis *post-hoc* para la longitud de bellota mostró diferencias entre poblaciones orientales (Espadà, Calderona) y la población central (Toledo) ($T > E = C$).

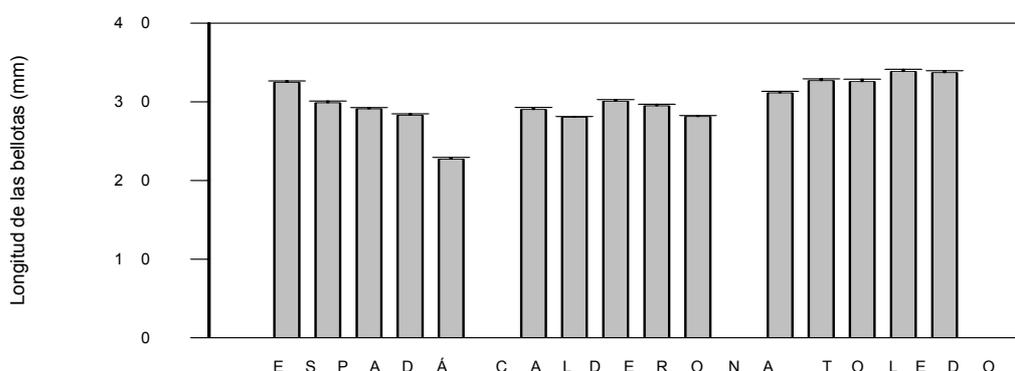


Figura 6. Longitud de las bellotas de 15 familias procedentes de 3 poblaciones independientes de Q. *suber* (se muestra la media y el error típico de 210 bellotas por familia).

Tabla 2. Características morfológicas de los brinzales de cada familia y procedencia, y de las bellotas utilizadas. H y D corresponden a la altura del tallo y diámetro del cuello de la raíz de los brinzales, respectivamente. D1 y D2 corresponden a la máxima anchura y longitud de las bellotas.

		Brinzales		Bellotas	
		D (mm)	H (cm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)
ESPADA	2941	4,1	16,3	14,7	32,2
	2942	3,7	16,1	16,2	31,7
	2943	3,4	12,9	14,1	29,9
	2944	3,0	11,4	15,1	28,9
	2945	2,6	9,0	16,4	21,6
CALDERONA	16	3,2	8,8	14,1	27,8
	651	3,2	11,7	12,8	28,7
	652	2,9	8,9	13,0	28,1
	653	3,9	12,4	15,5	29,6
	654	3,0	8,2	11,0	28,7
TOLEDO	3	3,4	11,2	17,3	32,6
	12	2,9	11,1	15,7	33,7
	23	2,9	11,4	16,4	33,0

66	3,0	12,1	15,9	33,5
81	2,9	10,2	15,3	33,1
ESPADA	3,3	13,0	15,2	28,9
CALDERONA	3,2	9,9	13,0	28,5
TOLEDO	3,0	11,2	16,1	33,2

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson para las relaciones entre las dimensiones de los brinzales, y las de las bellotas.

	Brinzales	
	D	H
D ₁		
r	0,20	0,33
P	0,000	0,000
N	350	346
D ₂		
R	0,35	0,40
P	0,000	0,000
N	350	346

2. Si ha encontrado problemas en el desarrollo del proyecto, coméntelos, especificando su naturaleza (de carácter científico, de gestión, etc).

B. PERSONAL EN EL PROYECTO

Nota: Se recuerda que las altas y bajas deben tramitarse de acuerdo con las “Instrucciones para el desarrollo de los proyectos de I+D” expuestas en la página web del Ministerio de Educación y Ciencia.

1. En el caso de que la ayuda concedida incluyera una partida para la incorporación de personal con cargo al proyecto, informe sobre la/s incorporación/es realizada/s, especificando titulación, situación laboral y tareas asignadas en el proyecto (**adjunte la documentación acreditativa en formato digital**)
2. Indique si se han producido altas y/o bajas en el equipo investigador desde el inicio del proyecto y, en su caso, si han sido ya comunicadas previamente y autorizadas por esta Subdirección General.

C. PROYECTOS COORDINADOS (Cumplimentar sólo por el coordinador si se trata de un proyecto coordinado)

Describe el desarrollo de la coordinación entre subproyectos en este año, y los resultados de dicha coordinación con relación a los objetivos globales del proyecto.

D. RELACIONES O COLABORACIONES CON DIVERSOS SECTORES

1. En caso de que estuviera prevista la participación o respaldo activo por parte de alguna Empresa o Agente socio-económico con interés en el proyecto, indique cómo se está realizando dicha participación.
2. Si el proyecto ha dado lugar a otras colaboraciones o transferencias con entidades no académicas, descríbalas brevemente.

Existe una colaboración con *El Banc de Llavors de la Generalitat Valenciana* (Banco de semillas forestales). Concretamente, *el Banc* colabora en recolección, almacenaje y estudio de viabilidad de las bellotas que nosotros utilizamos para los experimentos.

3. Si el proyecto ha dado lugar a colaboraciones con otros grupos de investigación, coméntelas brevemente.

Se ha entrado en colaboración con el grupo de Teodoro Marañón (CSIC, Sevilla), que analizan aspectos similares en el Parque Natural de los Alcornocales. En concreto estamos juntando datos de las dos localidades para estudiar diferencias en regeneración.

También se está en contacto con un grupo de Lisboa (F. Moreira, JS Silva, F. Catry) y con el IPROCOR (E. Cardillo) para realizar un posible estudio sobre la regeneración post-incendio de los alcornocales ibéricos.

Se ha visitado el *Forest Research Institute de Lituania*, y a Dr. Alfás Pliura y a Dr. Virgilijus Baliuckas, del Departamento de Genética Forestal, para discutir varios aspectos sobre nuestra investigación de las procedencias.

4. Si ha iniciado la participación en proyectos del Programa Marco de I+D de la UE y/o en otros programas internacionales en temáticas relacionadas con la de este proyecto, indique programa, tipo de participación y beneficios para el proyecto.

F. GASTOS REALIZADOS

Nota: Debe cumplimentarse este apartado independientemente de la justificación económica enviada por el organismo.

1. Indique el total de gasto realizado en el proyecto hasta este momento:

	Total gasto de la anualidad (€)
Personal	
Costes de ejecución	
TOTAL GASTO REALIZADO	

Describir brevemente el material inventariable adquirido, si procede:

2. Comente brevemente si ha habido algún tipo de incidencia en este apartado, indicando si ha sido comunicada previamente y autorizada por esta Subdirección general.
-