



## 6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

---

**6CFE01-160**

---

Montes: Servicios y desarrollo rural  
10-14 junio 2013  
Vitoria-Gasteiz



---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013  
ISBN: 978-84-937964-9-5

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Ensayo de fertilización foliar sobre regenerado de pino rodeno en Cuéllar (Segovia)

GARCÍA FERNÁNDEZ, A.<sup>1</sup>, AROCA FERNÁNDEZ, M.J.<sup>2</sup>, BRAVO FERNÁNDEZ, J.A.<sup>2</sup> y SERRADA HIERRO, R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. UPM. Ciudad Universitaria s/n. 28040. Madrid. agflega@hotmail.com

<sup>2</sup>ECOGESFOR . Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. UPM. Ciudad Universitaria s/n. 28040. Madrid

### Resumen

El regenerado de *Pinus pinaster* Ait. en la tierra de pinares segoviana presenta frecuentemente, en estado de monte bravo, un desarrollo deficiente de la guía y de las ramas del tercio superior de la copa. El objetivo del presente estudio es tratar de determinar si este deficiente desarrollo está relacionado con alguna carencia nutricional. Para ello se realiza un ensayo de fertilización foliar y se analiza su influencia sobre la *Longitud de las acículas* y la *Longitud de los ramillos* desarrollados en el periodo vegetativo siguiente a la fertilización. Se consideran cuatro localizaciones diferentes y tres tratamientos distintos (Testigo, T, sin fertilización; fertilización simple, F; y fertilización doble, FF).

### Palabras clave

*Pinus pinaster*, fertilización foliar, morfología foliar, regeneración, carencias nutricionales.

## 1. Introducción

Durante el proceso de replanteo de las parcelas experimentales del Trabajo Fin de Carrera titulado *Factores microclimáticos que influyen en la regeneración de las masas de Pinus pinaster Ait. en tierra de pinares (Segovia)* (GARCÍA FERNÁNDEZ, 2010), se observó la presencia frecuente de pies en fase de monte bravo con un deficiente estado vegetativo manifestado en un puntisechado patente o en un escaso desarrollo de la guía terminal y ramas cercanas. Tienen aspecto de permanecer en este estado bastante tiempo. Fueron descalzados algunos ejemplares en esta situación y no se observaron deficiencias morfológicas en el sistema radical, al contrario, presentaban un profundo enraizamiento. Para avanzar en la metodología de los ensayos que puedan dar explicación a esta situación, se realizó el estudio que ahora se presenta.

## 2. Objetivo

Se realizó un ensayo de fertilización foliar sobre individuos con un desarrollo anormal, valorado por comparación con los pies cercanos, con el objetivo de comprobar si una deficiencia nutricional es la causa de su estado, a través de observar la variación de la longitud de las acículas y de la longitud de los ramillos del período vegetativo del año 2009, tras la fertilización realizada en marzo-abril de 2009.

### 3. Metodología

#### *Área de estudio*

El ensayo se llevó a cabo en el monte nº 48 del Catálogo de Utilidad Pública de la provincia de Segovia, denominado “Común Grande de las Pegueras”. El monte se localiza en el centro-norte de la provincia, en la comarca natural *Tierra de Pinares* que abarca el norte de la provincia de Segovia, sur de la de Valladolid y Este de la de Ávila.

Respecto a la climatología, la temperatura media mensual varía entre los 4° C del mes de enero y los 22,5° C del mes de julio. El período de heladas probables abarca los meses comprendidos entre octubre y mayo, seguras en enero y febrero; y durante los meses de verano se alcanzan temperaturas máximas diarias superiores a 32° C, siendo la precipitación de esta estación inferior al 30 % del total anual (menos de 80 mm). El período de parón vegetativo por frío, cuando la temperatura media es inferior a 6° C, abarca los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero; y el período de aridez estival los de junio, julio, agosto y mitad de septiembre. Así, el período vegetativo es inferior a cinco meses en los que las precipitaciones no coinciden con las altas temperaturas (BORREGÓN, 2012).

En cuanto a la edafología, estos suelos están formados por depósitos de arenas poco evolucionados procedentes de la erosión del Sistema Central. Las características más relevantes son un alto contenido en arena, cercano al 100 %, sobre todo en los horizontes superficiales y un bajo contenido en arcillas y limos, por debajo del 5 %, que confiere a estos suelos una escasa capacidad de retención de agua y una gran permeabilidad que provoca un fuerte lavado de los elementos finos a horizontes más profundos; bajo contenido en materia orgánica, inferior al 2 % en todos los horizontes; ausencia total de carbonatos en todos los horizontes; y pH entre 6 y 7. El perfil típico es A;C aunque puede haber una tendencia a formar un horizonte B de iluviación, que no llega a diferenciarse a causa del intenso lavado citado anteriormente (BORREGÓN, 2012).

#### *Diseño experimental*

Dentro del área de estudio se establecieron cuatro zonas de muestreo (I, II, III y IV) y en cada una de ellas se seleccionaron tres ejemplares de *Pinus pinaster* Ait. en estado de monte bravo y con un desarrollo deficiente en comparación con otros pies cercanos. Con el fin de contrastar el efecto de la fertilización sobre este tipo de pies se planteó la aplicación de tres tratamientos diferentes: 1 dosis de fertilización (F); 2 dosis de fertilización (FF) y sin fertilización (Testigo, T); y en cada parcela se destinó un pie a cada uno de los tratamientos.

La primera dosis de fertilización se aplicó a finales de marzo de 2009 y la segunda (sólo en los pies fertilizados dos veces) a primeros de mayo de ese mismo año. Las fertilizaciones consistieron en cada caso en 25 g de fertilizante SCOTTS Peters Professional 5 g/l con la siguiente composición: nitrógeno (7%), fósforo (27%), potasio (12%), boro (0,03 %), cobre (0,07 %), hierro (0,15 %), manganeso (0,07 %), molibdeno (0,001 %) y zinc (0,07 %).

Tras la aplicación de los tratamientos se valoró su efecto sobre el desarrollo de los pies mediante dos variables: longitud de las acículas ( $Lac_{2009}$ ) y longitud de los ramillos ( $Lram_{2009}$ ) emitidos durante el período de crecimiento posterior a la fertilización (mediciones realizadas en octubre de 2009). Así mismo se llevó a cabo la medición de la longitud de acículas y ramillos correspondientes al periodo vegetativo anterior a la fertilización (2008). Para ello en cada pie se seleccionaron ocho puntos de muestreo tomando uno en cada dirección (N, S, E, O) y a dos alturas (zona alta de la copa y zona baja) y en cada punto de muestreo se midió una acícula al azar del período vegetativo del año 2009, una acícula del período vegetativo del año 2008 y la longitud de las metidas del 2008 y del 2009 (Figura 1).

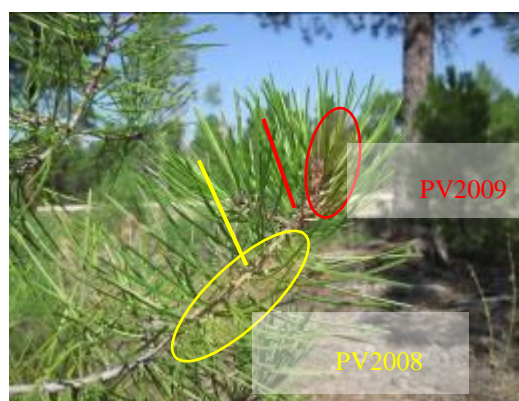


Figura 1: Metida y acícula de los períodos vegetativos del año 2008 (PV 2008) y del año 2009 (PV 2009)

### Análisis estadístico

Dado que los tratamientos de fertilización fueron aplicados a nivel de pie mientras que las mediciones se llevaron a cabo a nivel de hoja (a razón de ocho hojas/pie), nos encontramos ante un caso de pseudorreplicación. Por este motivo, siguiendo las recomendaciones de Hurlbert (1984) para casos de pseudorreplicación simple, se lleva a cabo el análisis de la información en dos etapas sucesivas:

- En primer lugar se analiza el efecto de los tratamientos de fertilización sobre el tamaño de acículas y ramillos con las mediciones agrupadas a nivel de pie (los análisis se llevan a cabo con los valores medios por pie, con la consiguiente reducción de grados de libertad de 96 a 12).

- En segundo lugar se analiza el efecto del pie sobre las mediciones puntuales de longitud en acículas y ramillos (que en ese caso sí pasan a constituir réplicas verdaderas y proporcionan 96 grados de libertad).

Para contrastar el efecto de los tratamientos sobre el tamaño medio de las acículas y los ramillos en los pies estudiados, se plantean sendos modelos mixtos con  $Lac_{2009}$  y  $Lram_{2009}$  como variables dependientes y con el *Tratamiento* como factor fijo y la *Zona de muestreo* como factor aleatorio. Dichos análisis se repiten también tomando como variables dependientes las variaciones interanuales en el tamaño de acículas y ramillos emitidos ( $Lac_{2009} - Lac_{2008}$  y  $Lram_{2009} - Lram_{2008}$  respectivamente).

El efecto del pie sobre las mediciones puntuales en acículas y ramillos se contrasta mediante un ANOVA univariante y se realizan comparaciones múltiples post-hoc mediante la prueba de Tukey.

El ajuste de modelos mixtos se lleva a cabo mediante el paquete *nlme* de R y el resto de análisis y gráficos mediante SPSS 15.1.

#### 4. Resultados y discusión

##### 1. Análisis de los valores medios por pie:

En las tablas 1 y 2 se resumen respectivamente los valores medios observados para la longitud de las acículas ( $Lac_{2009}$ ), la longitud de los ramillos ( $Lram_{2009}$ ) y las diferencias entre las medias de los años 2009 y 2008 en ambas variables, todo ello en función de los distintos niveles de los factores *Zona* y *Tratamiento*.

Tabla 1: Valores medios de la Longitud de las acículas del 2009 (cm) y de la variación interanual ( $Lac_{2009}-Lac_{2008}$ ).  
Tratamientos: T: Testigo, F: Fertilización de una dosis, FF: Fertilización de dos dosis.

ZONA	$Lac_{2009}$ (cm)					$\Delta Lac_{2009} = Lac_{2009} - Lac_{2008}$ (cm)					
	TRATAMIENTO			Media	$\sigma$	TRATAMIENTO			Media	$\sigma$	n
	T	F	FF			T	F	FF			
I	2,2	3,2	7,9	<b>4,4</b>	3,0	-4,6	-1,5	-1,7	<b>-2,6</b>	1,7	3
II	3,3	5,3	1,6	<b>3,4</b>	1,8	-2,8	-1,2	-4,3	<b>-2,8</b>	1,6	3
III	7,3	7,6	7,6	<b>7,5</b>	0,2	0,4	1,2	1,2	<b>0,9</b>	0,4	3
IV	3,7	5,6	3,8	<b>4,4</b>	1,1	-2,0	0,1	-7,0	<b>-3,0</b>	3,6	3
Media	<b>4,1</b>	<b>5,4</b>	<b>5,2</b>	<b>4,9</b>	0,6	<b>-2,2</b>	<b>-0,3</b>	<b>-3,0</b>	<b>-1,8</b>	1,8	12
$\sigma$	2,2	1,8	3,0	1,5	2,3	2,1	1,2	3,5	1,8	1,3	12
n	4	4	4	4	4	4	4	4	12	12	12

Tabla 2: Valores medios de la Longitud de los ramillos del 2009 (cm) y de la Variación interanual ( $Lram_{2009}-Lram_{2008}$ ). Tratamientos: T: Testigo, F: Fertilización de una dosis, FF: Fertilización de dos dosis.

ZONA	$Lram_{2009}$ (cm)					$\Delta Lram_{2009} = Lram_{2009} - Lram_{2008}$ (cm)					
	TRATAMIENTO			Media	$\sigma$	TRATAMIENTO			Media	$\sigma$	n
	T	F	FF			T	F	FF			
I	2,7	1,9	5,6	<b>3,4</b>	1,9	-1,9	-0,1	-4,1	<b>-2,0</b>	2,0	3
II	3,0	3,1	2,2	<b>2,8</b>	0,5	0,6	-0,9	-2,5	<b>-0,9</b>	1,6	3
III	5,2	4,9	2,5	<b>4,2</b>	1,5	-2,9	-1,0	-0,9	<b>-1,6</b>	1,1	3
IV	2,5	6,9	5,7	<b>5,0</b>	2,3	-0,4	1,4	2,1	<b>1,0</b>	1,3	3
Media	<b>3,4</b>	<b>4,2</b>	<b>4,0</b>	<b>3,8</b>	0,4	<b>-1,1</b>	<b>-0,2</b>	<b>-1,4</b>	<b>-0,9</b>	1,5	12
$\sigma$	1,3	2,2	1,9	0,8	1,7	1,5	1,1	2,6	1,3	0,4	12
n	4	4	4	4	4	4	4	4	12	12	12

Tanto en acículas como en ramillos, el valor medio observado es mayor en los pies fertilizados una vez ( $Lac_{2009} = 5,4\text{cm}$ ,  $Lram_{2009} = 4,2\text{cm}$ ) que en los no fertilizados ( $Lac_{2009} = 4,1\text{ cm}$ ,  $Lram_{2009} = 3,4\text{cm}$ ). Por su parte, los pies fertilizados dos veces presentan una longitud media observada ( $Lac_{2009} = 5,2\text{ cm}$ ,  $Lram_{2009} = 4,0\text{ cm}$ ) mayor que la de los testigos pero menor que los pies que sólo se fertilizaron una vez.

Si disminuimos el posible efecto del ruido asociado a las particularidades de cada pie concreto analizando el cambio en el tamaño medio de las acículas y ramillos tras la aplicación de los tratamientos en lugar del valor anual ( $\Delta Lac_{2009}$ ;  $\Delta Lram_{2009}$ ), las diferencias entre tratamientos aumentan. Así, en ausencia de fertilización (T), las medias observadas de longitud de las acículas y ramillos han sido respectivamente 2,2 cm y 1,1 cm menores en 2009 que en 2008, mientras que los pies fertilizados una sola vez prácticamente presentan la misma media de tamaño los dos años. Esto podría implicar que si las características del año 2009 fueron menos favorables al desarrollo de las plantas que las de 2008, este efecto fue casi imperceptible en los pies sometidos a fertilización monodosis. Sin embargo, en los pies con doble fertilización la disminución media en las variables objetivo es mayor incluso que en los testigos, lo que implicaría que la doble dosis emporaría la respuesta de los pies al endurecimiento de condiciones ambientales.

En conjunto, las diferencias observadas, caso de ser significativas, podrían implicar que el tratamiento de fertilización resulta efectivo cuando se aplica una sola dosis y que pierde efectividad o incluso resulta contraproducente al duplicar la misma. Para comprobarlo se ajustan sendos modelos mixtos para las longitudes medias por pie tanto de las acículas como de los ramillos emitidos en 2009 ( $Lac_{2009}$ ;  $Lram_{2009}$ ), así como para la variación interanual de las medias de 2009 y 2008 ( $\Delta Lac_{2009}$ ;  $\Delta Lram_{2009}$ ), con el *Tratamiento* de fertilización como factor fijo y la *Zona de muestreo* como factor aleatorio.

Los resultados obtenidos, que se muestran a continuación (tablas 3 y 4), ponen de manifiesto que a partir de los datos analizados no es posible afirmar que las diferencias antes descritas sean significativas puesto que ninguno de los efectos de los factores analizados (*Tratamiento* y *Zona*) resulta significativo.

Tabla 3: Estimación de coeficientes para los efectos fijos de los modelos mixtos indicados donde:  $\beta_0$ = término independiente;  $\beta_i$  = parámetros correspondientes a los efectos fijos del factor *Tratamiento*;  $\beta_{Zona} \sim N(0, \sigma_z^2)$ : parámetro correspondiente al factor aleatorio *Zona*;  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ : error del modelo.

	Modelo general: $Y = \beta_0 + \beta_i + \beta_{Zona} + \varepsilon_{ij}$							
	$Y = Lac_{2009}$		$Y = \Delta Lac_{(2009-2008)}$		$Y = Lram_{2009}$		$Y = \Delta Lram_{(2009-2008)}$	
	$\beta_i$	p-valor	$\beta_i$	p-valor	$\beta_i$	p-valor	$\beta_i$	p-valor
Intersec.	4,12	0,01	- 2,23	0,12	3,36	0,01	-1,13	<b>0,27</b>
F	1,31	0,38	1,89	0,22	0,84	0,54	0,95	<b>0,43</b>
FF	1,09	0,46	-0,72	0,62	0,63	0,64	-0,22	<b>0,85</b>

Ninguno de los p-valores asociados a los coeficientes de los niveles del factor *Tratamiento* es menor que 0,05, por lo que no podemos afirmar que exista un efecto significativo de la fertilización sobre las variables contempladas. Por otro lado, en la parte

aleatoria del modelo también se observa que en ningún caso hay diferencias significativas entre el modelo con y sin término aleatorio, por lo que a partir de los datos observados tampoco se puede afirmar que el factor *Zona* influya significativamente en las variables analizadas.

Tabla 4: p-valores correspondientes a la comparación de modelos con ( $M_2$ ) y sin ( $M_1$ ) *Zona* como factor aleatorio para cada una de las variables objetivo contempladas.  $\beta_0$ = término independiente;  $\beta_i$  = parámetros correspondientes a los efectos fijos del factor Tratamiento;  $\beta_{Zona} \sim N(0, \sigma_z^2)$ : parámetro correspondiente al factor aleatorio *Zona*;  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ : error del modelo.

$M_1: [ Y_i = \beta_0 + \beta_i + \varepsilon_{ij} ]$ VS $M_2: [ Y_i = \beta_0 + \beta_i + \beta_{Zona} + \varepsilon_{ij} ]$						
	AIC $M_1$	AIC $M_2$	LogLik $M_1$	LogLik $M_2$	L.Ratio	p-valor
$Y_1 = Lac_{2009}$	53,48	54,61	-22,74	-22,74	0,87	<b>0,35</b>
$Y_2 = \Delta Lac_{(2009-2008)}$	53,83	54,62	-22,92	-22,41	1,01	<b>0,32</b>
$Y_3 = Lram_{2009}$	48,59	50,59	-20,29	-20,29	0,00	<b>~1</b>
$Y_4 = \Delta Lram_{(2009-2008)}$	49,00	50,44	-20,50	-20,22	0,56	<b>0,46</b>

Todo parece indicar que el hecho de haber realizado las repeticiones sobre acículas de los mismos pies en lugar de sobre pies distintos (lo que supone una drástica reducción de los grados de libertad de 96 a 12), impide llegar a resultados concluyentes acerca de los efectos de los tratamientos y las zonas sobre los individuos en su conjunto. No obstante, los indicios encontrados en esta primera aproximación al tema sí sugieren que sería interesante repetir el experimento con un mayor número de pies muestreados.

Destacar por último que entre los años 2008 y 2009 el principal cambio observado en las condiciones ambientales es una reducción de en torno al 40% de las precipitaciones del período Marzo-Septiembre (Tabla 5 y Figura 2), lo que podría tener que ver con la disminución observada del tamaño medio de acículas y ramillos entre estos años (que sólo resulta significativa en el caso de las acículas). No obstante, una vez más serían necesarias series más largas de mediciones para confirmar esta hipótesis.

Tabla 5: Precipitación acumulada registrada en la estación meteorológica de Gomezserracín los años 2008 y 2009.

Meses	Precipitación acumulada (mm)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Año 2008	27,4	63,8	78,6	161,4	323,6	387,2	401,6	443,6	461,4	573,4	611,2	662,4
Año 2009	43,8	67,4	74,6	125	157,2	208,8	210,2	216,8	225	256,2	280,3	363

## 2. Análisis de los valores individuales por acícula o ramillo

Se consideran cuatro variables diferentes: lac2009: valores individuales de longitud de las acículas de 2009; lram2009: valores individuales de longitud en cm de los ramillos de 2009;  $\Delta lac$ (lac2009-Lac2008): valores individuales de longitud en cm de las acículas emitidas en 2009 corregidas por la media de longitud de las emitidas en 2008 en el pie que corresponda.  $\Delta lram$ (lram2009-Lram2008): valores individuales de longitud en cm de los ramillos emitidos en 2009 corregidos por la media de longitud de los emitidos en 2008 en el pie que corresponda.



Los análisis de varianza univariantes realizados sobre lac2009, lram2009,  $\Delta lac(lac2009-Lac2008)$  y  $\Delta lram(lram2009-Lram2008)$ , confirman la existencia de diferencias significativas entre pies en todas las variables analizadas. Cabe destacar que las diferencias entre pies son del mismo orden de magnitud que las encontradas entre tratamientos, pero la existencia de un número mucho mayor de réplicas en esta ocasión (96 grados de libertad frente a 12) confiere mucha mayor potencia discriminatoria al test. Una vez más la ausencia de repeticiones por pie complica la interpretación de los subconjuntos homogéneos establecidos por las pruebas pot-hoc de Tukey ya que no es posible diferenciar el efecto del factor pie del de la interacción Zona\*Tratamiento. En cualquier caso se adjunta como ejemplo la Tabla 6 de subconjuntos homogéneos de Tukey obtenido para la variable  $\Delta lac(lac2009-Lac2008)$  donde vuelve a apreciarse la tendencia de los pies con fertilización monodosis a mejorar su desarrollo tras la fertilización.

Tabla 6: Grupos homogéneos de Tukey para la variable  $\Delta lac(lac2009-Lac2008)$ . Cada pie se identifica con las siglas y un color para el tratamiento (T: Testigo, F: Fertilización simple, FF: Fertilización doble) y un número romano del uno al cuatro para la zona.

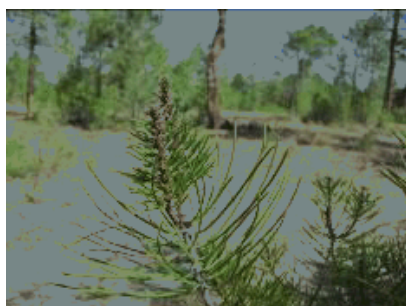
Pie	Media(cm)	Subconjunto					
		2	3	4	5	6	1
12	-7,00	IV-FF					
1	-4,55		I-T				
6	-4,34		II-FF				
4	-2,80			II-T			
10	-2,03			IV-T			
3	-1,65				I-FF		
2	-1,49					I-F	
5	-1,15					II-F	
11	0,11					IV-F	
7	0,45						III-T
8	1,15						III-F
9	1,15						III-FF



IT



IIIF



IVF



IVFF

Figura 2: Detalle de las medidas del año 2009 de algunos. Las medidas han detenido su crecimiento y sus acículas no se han desarrollado. Número de parcela: I, II, III, IV. Tratamiento: T, Testigo; F: Fertilizado una vez; FF: Fertilizado dos veces



## 5. Conclusiones

El diseño experimental planteado no permite demostrar la existencia de un efecto significativo de los tratamientos de fertilización aplicados sobre pies de *Pinus pinaster* Ait. en estado de monte bravo, en el tamaño de las acículas y ramillos emitidos.

No obstante, la presencia de pseudorreplicación en el diseño experimental parece ser la causa principal de la ausencia de significación de las tendencias observadas en las medias de los tratamientos: LacF > LacT > LacFF; LramF > Lram T > LramFF.

Las características concretas de cada individuo influyen significativamente en la longitud de las acículas y los ramillos, pero la ausencia de réplicas verdaderas impide distinguir entre el efecto del individuo en sí mismo y el de la interacción *Zona\*Tratamiento*.

Los indicios encontrados en esta primera aproximación al tema sugieren que sería interesante repetir el experimento con un diseño experimental con más réplicas verdaderas.

Esta repetición no está indicada únicamente por motivos de diseño del experimento, también lo está para tratar de encontrar dos años consecutivos de condiciones meteorológicas semejantes, ya que la gran diferencia entre los años 2008 y 2009 han podido enmascarar los resultados y efectos de las fertilizaciones.

## 6. Bibliografía

BORREGÓN, T.; 2012. La regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. en la Tierra de Pinares. En GORDO, J., CALAMA, R., PARDOS, M., BRAVO, F., MONTERO, G. (Ed.): La regeneración natural de los pinares en los arenales de la Meseta Castellana. 237-248. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (Universidad de Valladolid-INIA). Valladolid.

GARCÍA FERNÁNDEZ, A; 2010. Factores microclimáticos que influyen en la regeneración de las masas de *Pinus pinaster* Ait. en tierra de pinares (Segovia). Trabajo Fin de Carrera. E.U.I.T.Forestal, Madrid.

HURLBERT, S.H; 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54(2), 187 - 211.