

XI Congreso Nacional de la
Asociación Española de
Ecología Terrestre
Pamplona, 6-10 mayo 2013



Caracterización ambiental de los robledales de *Quercus pyrenaica* Willd. de Sierra Nevada

Pérez-Luque, A.J.; Bonet, F.J.; Benito, B.M. & Zamora, R.



Evidencias científicas cambio global

(IPCC, 2007; Thuiller et al. 2005; Gordo & Sanz, 2010; Tausch, 2008; Hughes, 2000; etc)

Impactos del Cambio Global

+ Regiones Mediterráneas (McCarthy et al 2002)

Significativos en ecosistemas forestales (Regato, 2008)

Áreas de montaña

Sistemas de alerta temprana de los impactos del cambio global

(Spehn & Körner, 2009; Kohler & Maselli, 2009)

Necesidad de estudios

Globales y locales



Evidencias científicas cambio global

(IPCC, 2007; Thuiller et al. 2005; Gordo & Sanz, 2010; Tausch, 2008; Hughes, 2000; etc)

Impactos del Cambio Global

+ Regiones Mediterráneas (McCarthy et al 2002)

Significativos en ecosistemas forestales (Regato, 2008)

Áreas de montaña

Sistemas de alerta temprana de los impactos del cambio global

(Spehn & Körner, 2009; Kohler & Maselli, 2009)

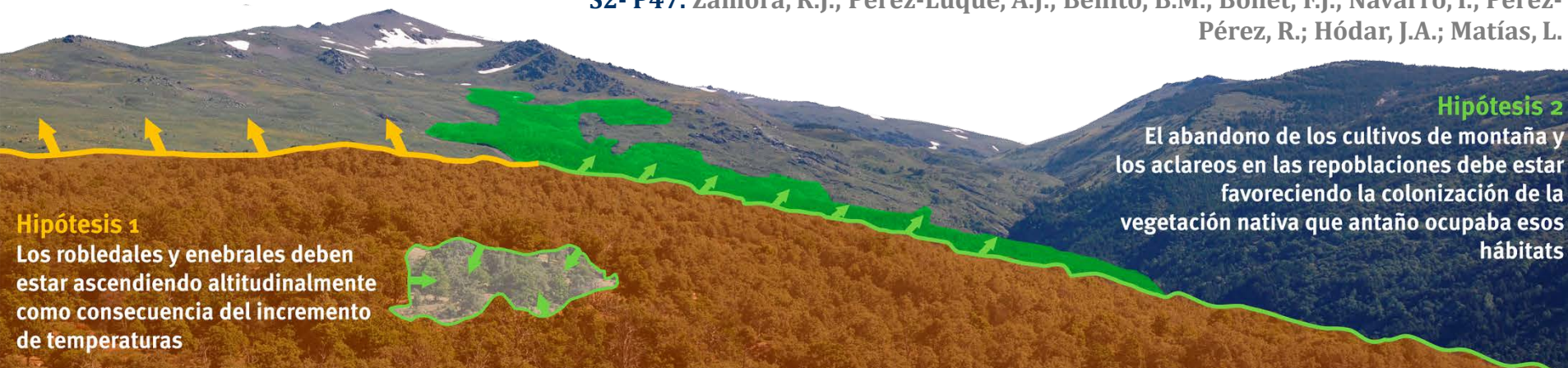
Necesidad de estudios

Globales y locales

Proyecto **MIGRAME**

Cambio global, Migración altitudinal y colonización de hábitats degradados en montañas mediterráneas

S2- P47. Zamora, R.J.; Pérez-Luque, A.J.; Benito, B.M.; Bonet, F.J.; Navarro, I.; Pérez-Pérez, R.; Hódar, J.A.; Matías, L.



Hipótesis 1

Los robledales y enebrales deben estar ascendiendo altitudinalmente como consecuencia del incremento de temperaturas

Hipótesis 2

El abandono de los cultivos de montaña y los aclareos en las repoblaciones debe estar favoreciendo la colonización de la vegetación nativa que antaño ocupaba esos hábitats



Robledales de *Quercus pyrenaica*

Sierra Nevada

■ Ecosistemas muy frágiles

(Melendo & Valle, 1996)

■ Alto impacto humano

(Camacho-Olmedo et al, 2002; Jiménez-Olivencia, 1991)

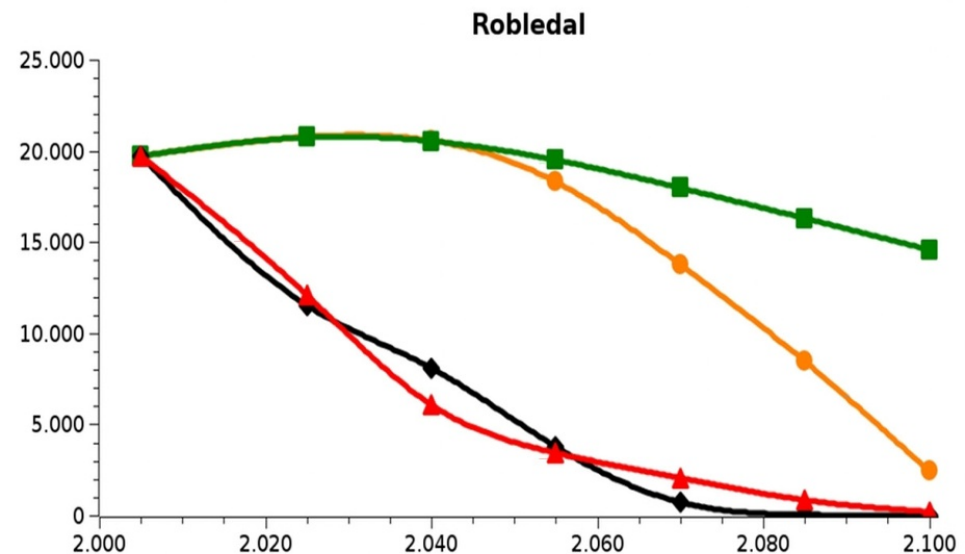
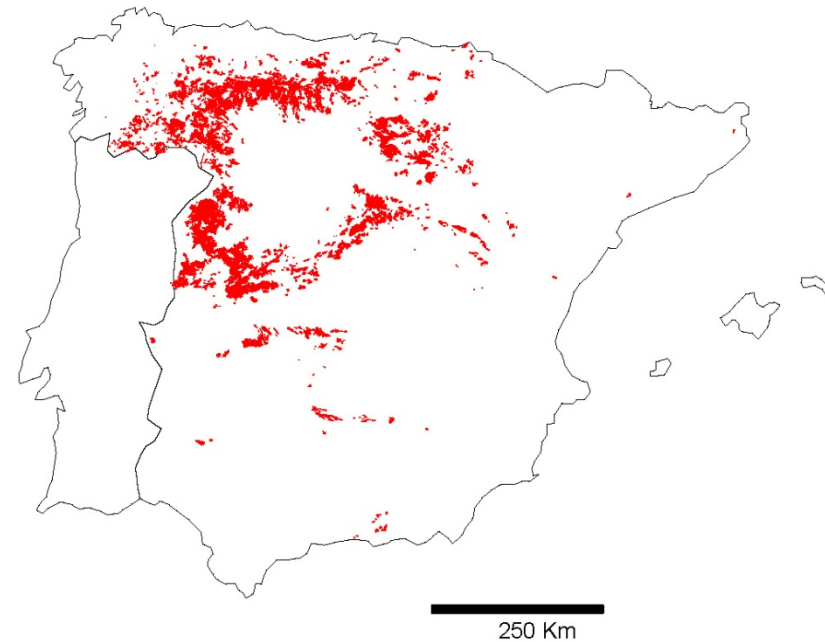
■ Límite meridional de su distribución

■ Estado de debilitamiento general

■ Predicciones (Benito, 2008; 2009; Benito et al 2011)

■ Disminución de su área de ocupación

■ Migración altitudinal





¿Podemos considerar los robledales de Sierra Nevada como una unidad homogénea respecto a sus variables ambientales?

¿responderán los robledales como una entidad homogénea frente a los posibles cambios futuros?

Caracterización ambiental robledales de *Q. pyrenaica* en Sierra Nevada



¿Podemos considerar los robledales de Sierra Nevada como una unidad homogénea respecto a sus variables ambientales?

¿responderán los robledales como una entidad homogénea frente a los posibles cambios futuros?

Caracterización ambiental robledales de *Q. pyrenaica* en Sierra Nevada

- i. Definir el hábitat óptimo y marginal
- ii. Identificar que variables ambientales explican la variabilidad de los robledales
- iii. Identificar grupos de poblaciones en función de las variables ambientales
- iv. ¿Existen diferencias entre los grupos para las variables ambientales y forestales?
- v. ¿Existe un agrupamiento basándonos en la composición florística de las poblaciones? ¿Se corresponde este agrupamiento con el obtenido para las variables ambientales?



i. Delimitación de las poblaciones de robleal en Sierra Nevada

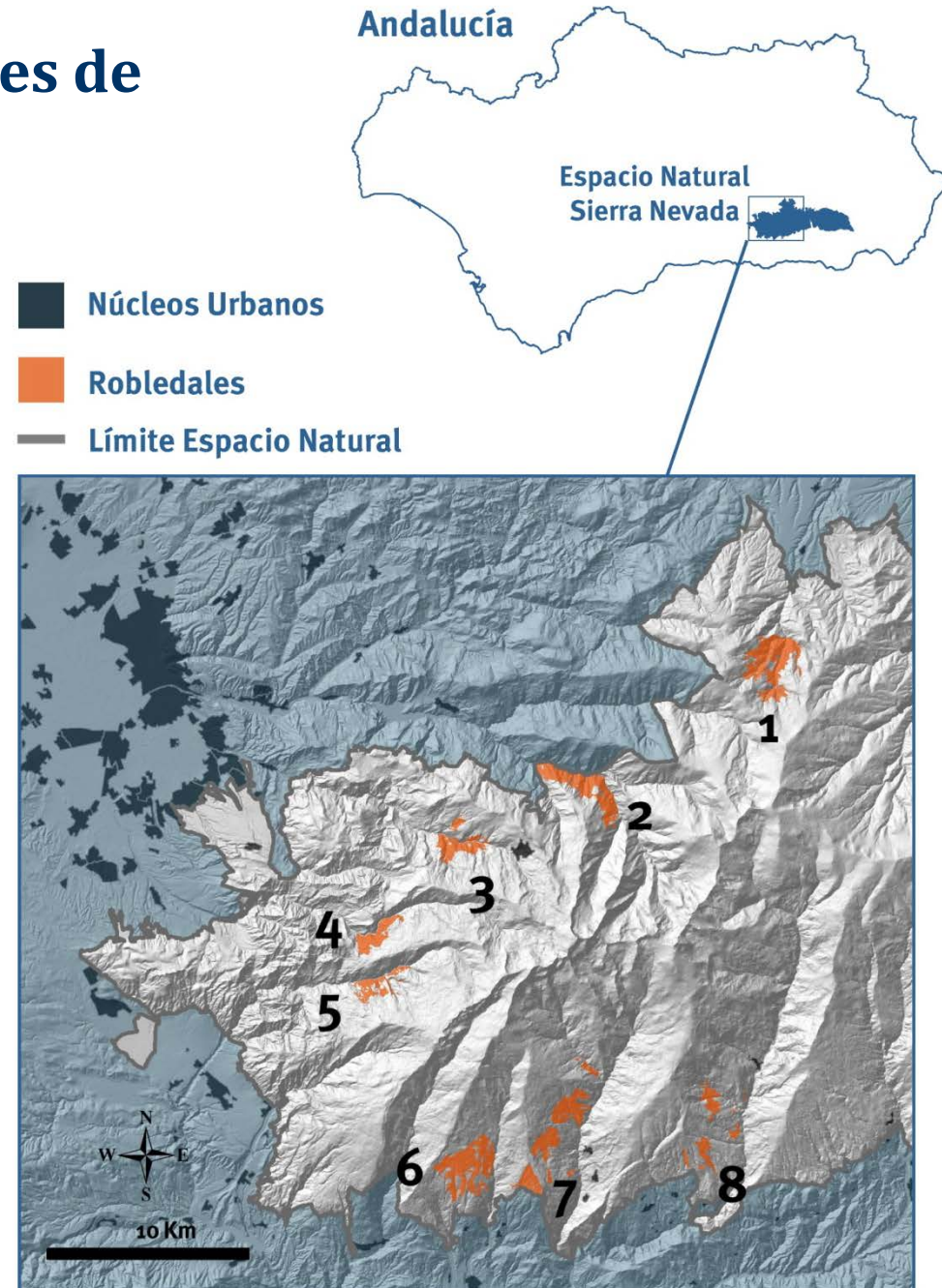
Fuentes:

- **Mapa de vegetación de Sierra Nevada 1:10.000** (Molero et al 2001)
- **Mapa de Ecosistemas de Sierra Nevada**
(Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada)
- **Ortofotografía B/N y color**
(Junta de Andalucía, 2004; 2005)

SIG

Fotointerpretación en detalle

(Navarro-González, 2010; Navarro-González & Bonet García, 2010)





ii. Conjunto de datos (I): variables ambientales

Fuentes:

Modelo Digital de Elevaciones (Junta Andalucía, 2005)

Capas temáticas (REDIAM)

Mapas climáticos alta Resolución
(Observatorio Cambio Global Sierra Nevada)

Variables

▪ Topográficas:

- Elevación
- Pendiente
- Orientación: gradientes E-O, S-N; Orientación
- Radiación (estacional)
 - Cantidad de radiación
 - Horas de sol
- Exposición topográfica

▪ Hidrográficas:

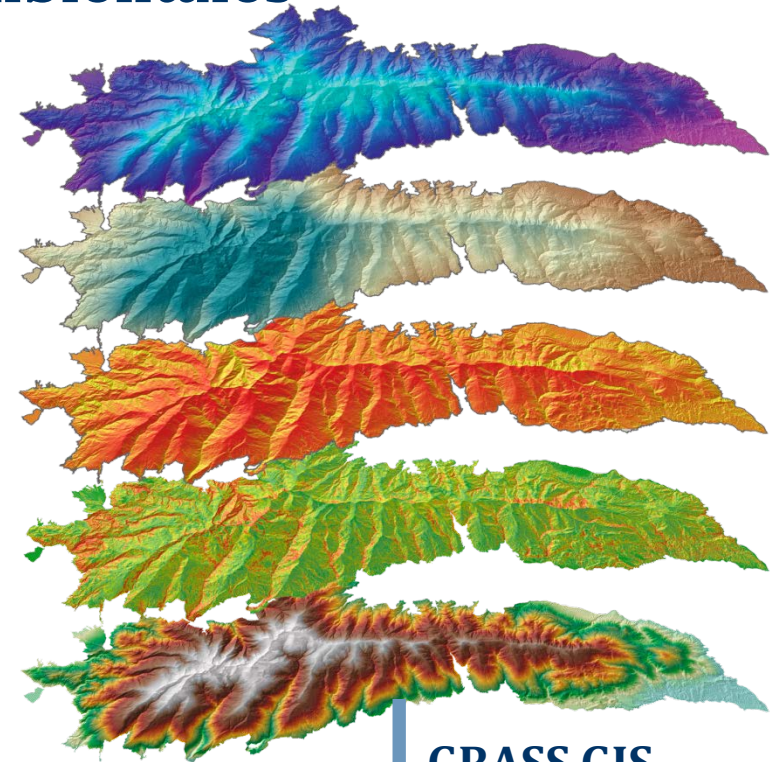
- Índice de Acumulación de sedimentos
- Índice topográfico de Humedad

▪ Climáticas (promedios históricos):

- Precipitación: anual y estacional
- Temperaturas mínimas y máximas: anual y estacional

▪ Índice de Intervención Humana

▪ Distancia al mar



GRASS GIS

(Benito, 2009;
Moore et al 1993;
Ninyerola et al. 2000)





ii. Conjunto de datos (II): atributos forestales

Inventario Forestal PN Sierra Nevada

(MMA, 2005)

32 parcelas

Atributos forestales

- **Composición:**

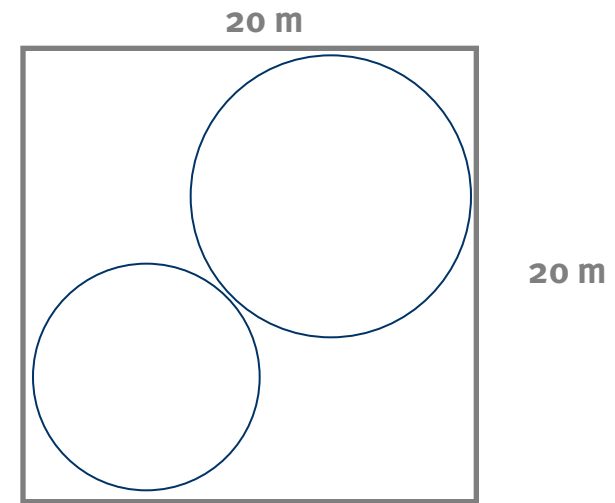
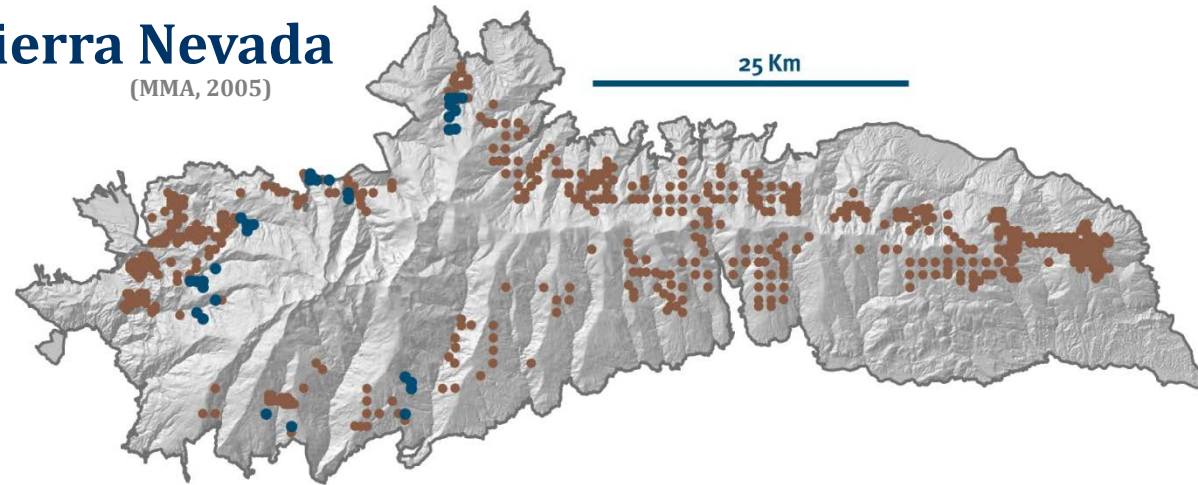
- Diversidad (Shannon-Weiner)
- Riqueza

- **Estructura:**

- Fracción de Cobertura Cubierta: total, arbórea, arbustiva, herbácea
- Índice diversidad estructural
- Altura, densidad, volumen, área basal

- **Función:**

- Regeneración: total, roble, encina





1. Definición hábitat óptimo y marginal:

Análisis descriptivo univariante

2. Identificación variables ambientales que explican la variabilidad de los robledales

Análisis componentes Principales (ACP):

- *Exploratorio:*
 - Escalamiento de los datos
 - $> 75\%$ correlaciones (r Pearson) significativas (p -valor < 0.01)
 - Adecuación muestral (Estadístico KMO=0.7138)
- *Componentes a retener:* criterio varianza.
- *Correlación variable-componente* $> |0.7|$

3. ¿Existen diferentes grupos de poblaciones en función de las variables ambientales?

Análisis discriminante

4. ¿Existen diferencias entre los grupos para las variables ambientales y forestales?

Análisis de la varianza

- Normalidad (Shapiro-Wilk; Kolmogorov-Smirnov)
- Homocedasticidad (test Levene)
- Diferencias significativas (post-hoc): LSD Tukey

Test no paramétrico Kruskal-Wallis

- Diferencias grupo a grupo: U Mann-Whitney

5. ¿Existe un agrupamiento basándonos en la composición florística de las poblaciones?

Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)

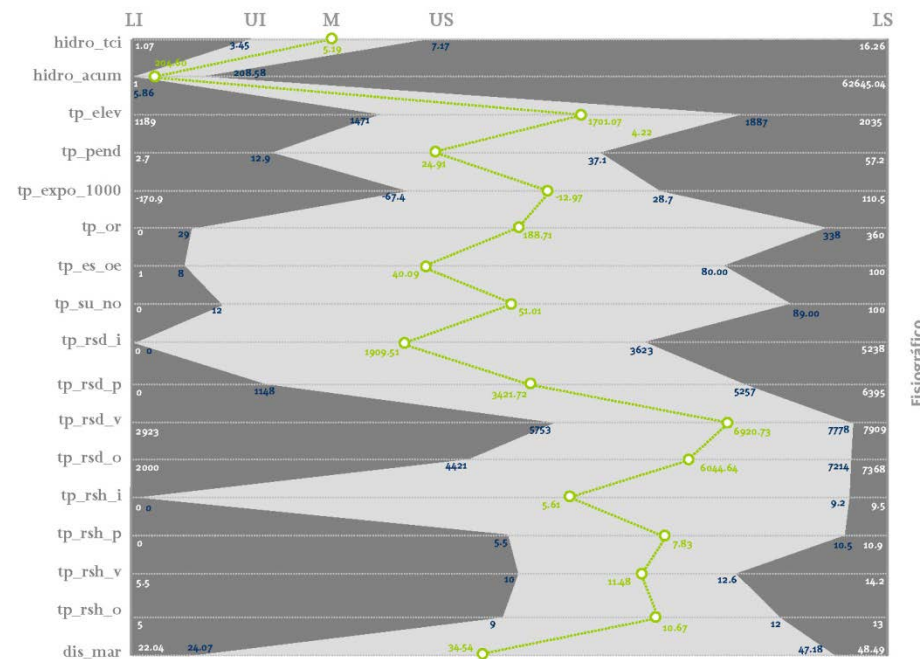
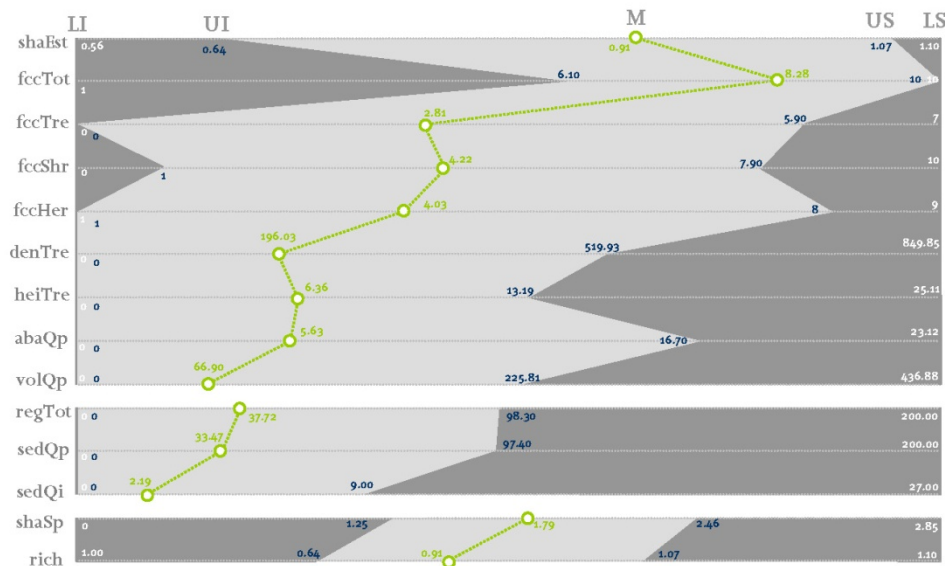
- Distancia Bray-Curtis (Sorensen)
- Superficies de respuesta de variables ambientales

iii. **Ánalysis estadístico**

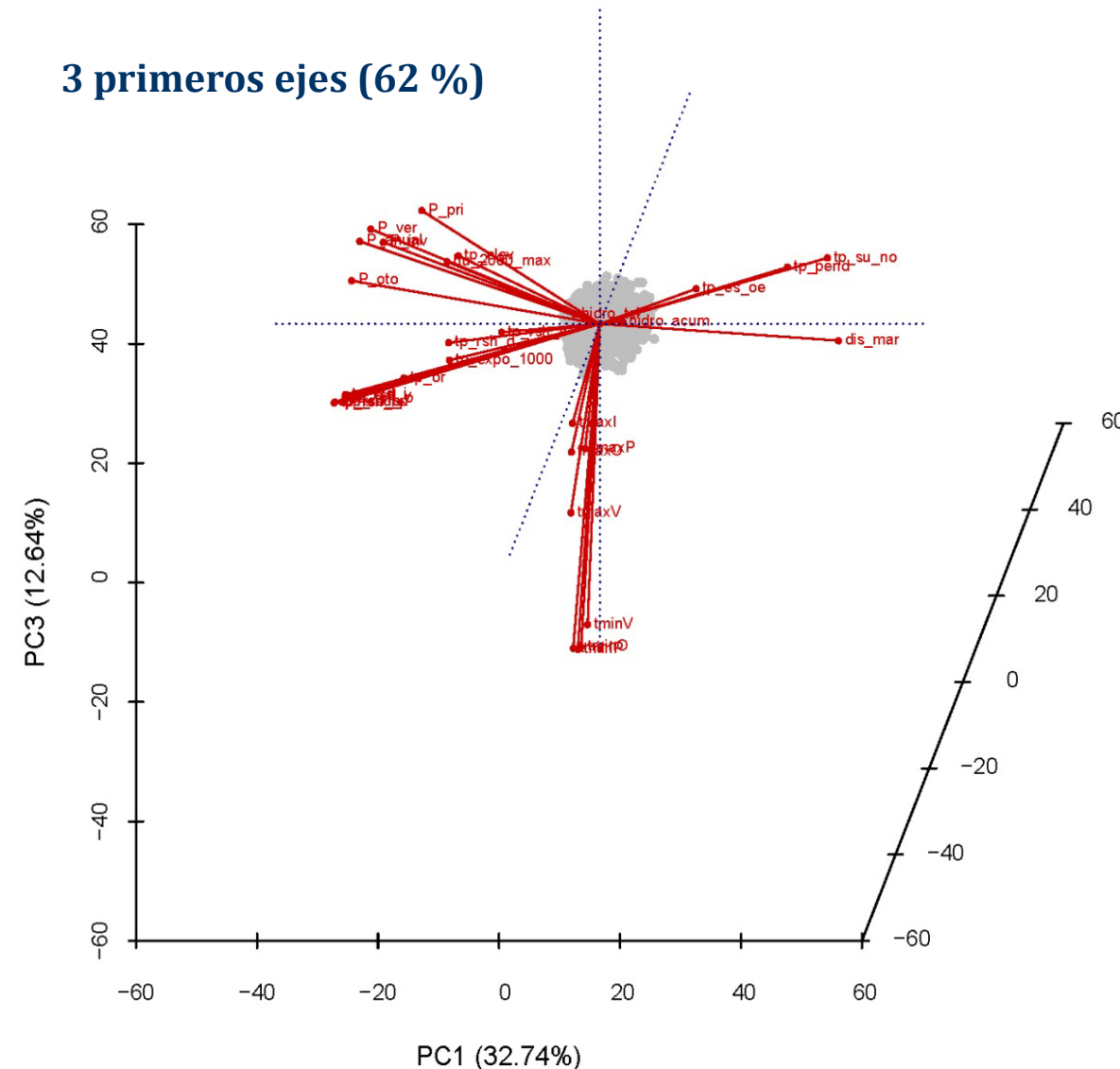


1. Hábitat óptimo y marginal

- **Atributos forestales:**
 - Altos coeficientes de variación (> 80 %)
 - < heterogeneidad en composición
- **Variables ambientales**
 - Bajos coeficientes de variación (*índice acumulación hídrica, $cv=530\%$)
 - > heterogeneidad topográficas



3 primeros ejes (62 %)



PC1:

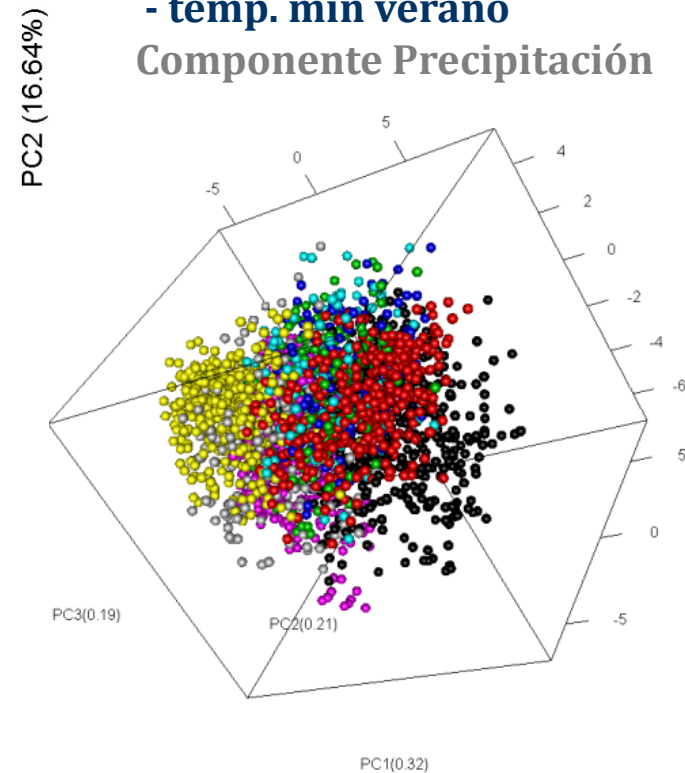
**- radiación, precipitación
+ dist. mar, gradiente_SU_NO**
Componente Topográfico

PC2:

- temperaturas (max, mín)
Componente Energético

PC3:

+ precipitación,
- temp. min verano
Componente Precipitación





3. ¿Podemos agrupar las poblaciones por sus características ambientales?

Función	Autovalor	% de Varianza	% Varianza acumulado	Correlación Canónica
1	149.59	68.2	68.2	.997
2	46.05	21.0	89.2	.989
3	18.35	8.4	97.6	.974
4	3.58	1.6	99.2	.884
5	1.01	0.5	99.7	.709
6	0.552	0.3	99.9	.596
7	0.212	0.1	100.0	.418

Tabla 3.5 Autovalores y porcentaje de varianza explicado por cada función discriminante. Se incluye el valor de la correlación canónica

Contraste de las Funciones	λ de Wilkis	χ^2	gl.	p-valor
1 a la 7	$4.28 \cdot e^{-07}$	35719.12	182	0
2 a la 7	$6.33 \cdot e^{-05}$	23518.70	150	0
3 a la 7	.003	14148.80	120	0
4 a la 7	.058	6940.78	92	0
5 a la 7	.264	3236.94	66	0
6 a la 7	.532	1537.32	42	< 0.00001
7	.825	468.15	20	< 0.00001

Tabla 3.6 Contraste de Lambda de Wilkis de las funciones discriminantes

97 % variabilidad recogida por las tres primeras funciones

LDA1:

- precipitación (otoño, anual, inv) // + dist. mar

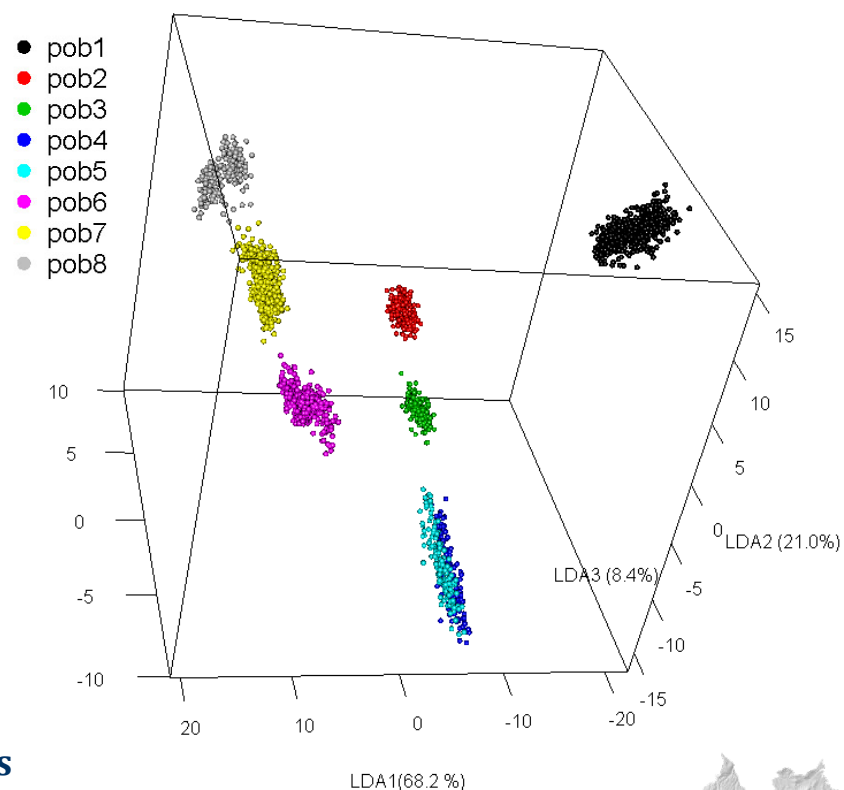
LDA2:

- radiación solar // + topográficas

LDA3:

- temp. máximas // + influencia humana

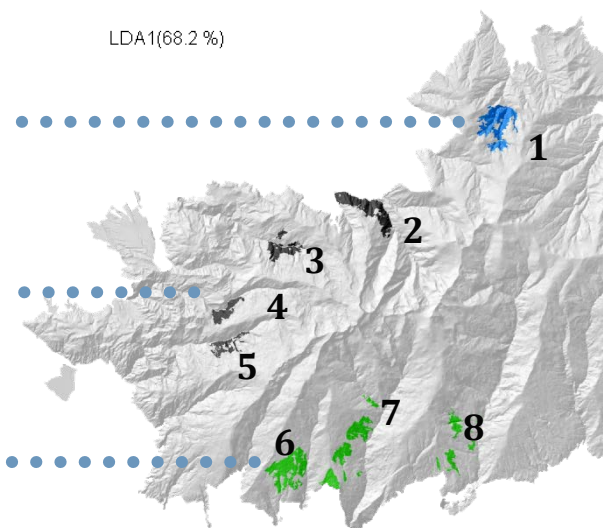
Correlaciones intra-grupo combinadas entre var. discriminantes y funciones discriminantes



Grupo A

Grupo B

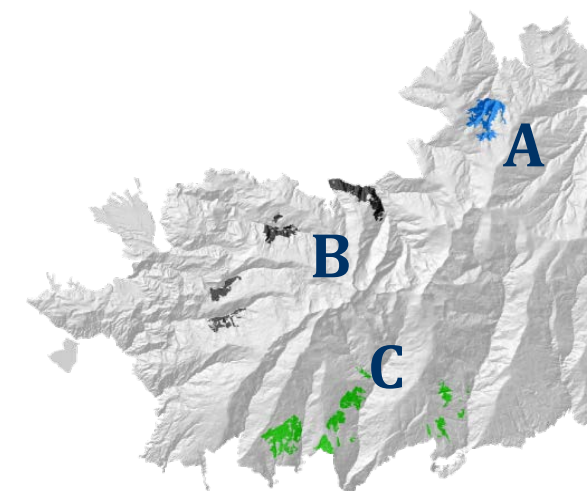
Grupo C





4. ¿Diferencias entre los grupos para las variables ambientales y forestales?

	χ^2	p	Grupos (media \pm SD)		
			A	B	C
hidro.tci	60.738	< 0.001	4.90 \pm 0.08 ^a	5.08 \pm 0.05 ^b	5.40 \pm 0.05 ^c
hidro.acum	66.219	< 0.001	345.35 \pm 97.91 ^a	175.73 \pm 32.95 ^b	169.57 \pm 21.93 ^c
tp.elev	32.383	< 0.001	1740.05 \pm 6.52 ^a	1669.84 \pm 6.22 ^b	1710.33 \pm 4.20 ^c
tp.pend	568.135	< 0.001	26.10 \pm 0.33 ^a	29.93 \pm 0.28 ^b	20.32 \pm 0.25 ^c
tp.expo.1000	201.903	< 0.001	-22.52 \pm 1.73 ^a	-22.46 \pm 1.64 ^b	-1.25 \pm 0.75 ^a
tp.or	656.798	< 0.001	160.25 \pm 5.50 ^a	113.33 \pm 2.33 ^b	262.06 \pm 3.14 ^c
tp.es.oe	442.277	< 0.001	40.37 \pm 1.47 ^a	54.36 \pm 0.84 ^b	28.34 \pm 0.58 ^c
tp.su.no	1363.014	< 0.001	62.33 \pm 0.93 ^a	73.73 \pm 0.66 ^b	27.76 \pm 0.54 ^c
tp.rsdi	1301.216	< 0.001	1489.98 \pm 50.78 ^a	770.18 \pm 31.99 ^b	3013.85 \pm 25.28 ^c
tp.rsdp	1242.793	< 0.001	3056.60 \pm 59.95 ^a	2140.28 \pm 41.68 ^b	4619.39 \pm 26.39 ^c
tp.rsdv	1064.834	< 0.001	6835.85 \pm 29.69 ^a	6352.91 \pm 25.49 ^b	7419.43 \pm 14.46 ^c
tp.rsdo	1238.903	< 0.001	5854.49 \pm 40.75 ^a	5205.08 \pm 30.85 ^b	6808.90 \pm 17.59 ^c
tp.rshi	1565.276	0	4.77 \pm 0.10 ^a	2.98 \pm 0.08 ^b	8.10 \pm 0.05 ^c
tp.rshp	125.570	< 0.001	7.42 \pm 0.06 ^a	6.47 \pm 0.06 ^b	9.13 \pm 0.04 ^c
tp.rshv	2.364	.306	11.49 \pm 0.05	11.37 \pm 0.04	11.58 \pm 0.03
tp.rsho	117.907	< 0.001	10.44 \pm 0.05 ^a	10.37 \pm 0.04	11.01 \pm 0.03 ^a
hu.2000_max	983.670	< 0.001	0.00 \pm 0.00 ^a	6.95 \pm 0.38 ^b	19.53 \pm 0.45 ^c
dis.mar	2094.165	0	47.10 \pm 0.04 ^a	39.52 \pm 0.11 ^b	25.26 \pm 0.04 ^c
P.inv	926.558	< 0.001	233.38 \pm 0.43 ^a	246.53 \pm 0.27 ^b	253.85 \pm 0.28 ^c
P.pri	576.535	< 0.001	135.36 \pm 0.39 ^a	148.30 \pm 0.32 ^b	148.28 \pm 0.21 ^c
P.ver	847.350	< 0.001	67.76 \pm 0.39 ^a	79.57 \pm 0.32 ^b	85.51 \pm 0.20 ^c
P.oto	1703.161	0	253.82 \pm 0.45 ^a	267.02 \pm 0.29 ^b	290.49 \pm 0.35 ^c
P.anual	1142.997	< 0.001	690.32 \pm 1.66 ^a	741.43 \pm 1.10 ^b	778.13 \pm 0.95 ^c
tminl	5.351	.069	0.45 \pm 0.04	0.42 \pm 0.02	0.37 \pm 0.02
tminP	18.446	< 0.001	4.55 \pm 0.04 ^a	4.37 \pm 0.02	4.35 \pm 0.02
tminV	80.106	< 0.001	13.13 \pm 0.04 ^a	12.68 \pm 0.03	12.68 \pm 0.03
tminO	28.557	< 0.001	7.15 \pm 0.04 ^a	6.93 \pm 0.02	6.89 \pm 0.02
tmaxl	184.761	< 0.001	8.22 \pm 0.05 ^a	9.40 \pm 0.05 ^b	9.16 \pm 0.04 ^c
tmaxP	46.598	< 0.001	13.95 \pm 0.04 ^a	14.35 \pm 0.04 ^b	14.21 \pm 0.03 ^c
tmaxV	87.498	< 0.001	24.93 \pm 0.04 ^a	25.46 \pm 0.04 ^b	25.29 \pm 0.03 ^c
tmaxO	170.760	< 0.001	16.22 \pm 0.05 ^a	17.19 \pm 0.05 ^b	16.97 \pm 0.04 ^c



No diferencias:
temp. min. Invierno
horas de sol en verano

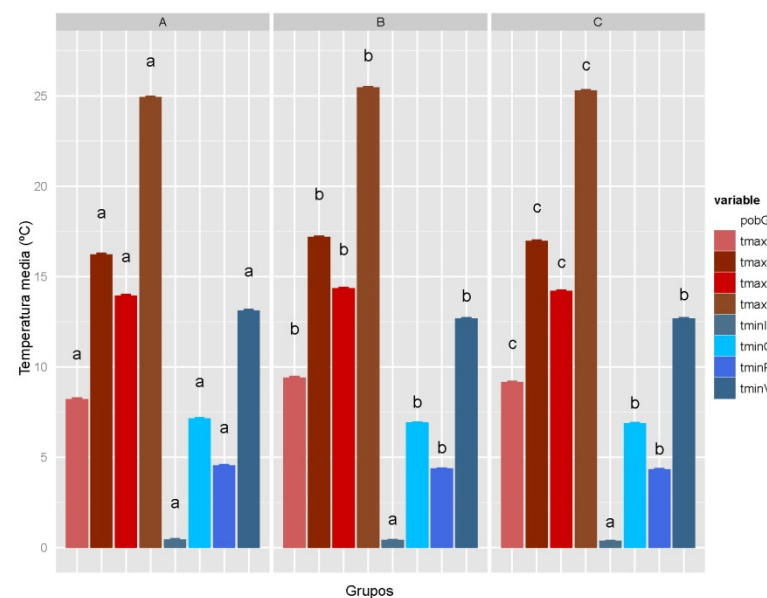
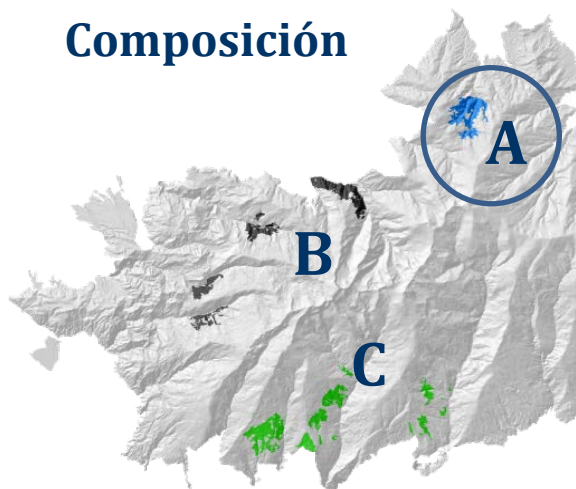


Tabla 3.10. Diferencias entre las medias de los grupos para las diferentes variables ambientales. Se muestra el valor del estadístico de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Se ha omitido los grados de libertad que se corresponden con $g.l.=2$. Letras diferentes indican diferencias entre las medias de los grupos. Todas las diferencias entre grupos a un nivel $\alpha < 0.05$



4. ¿Diferencias entre los grupos para las variables ambientales y forestales?

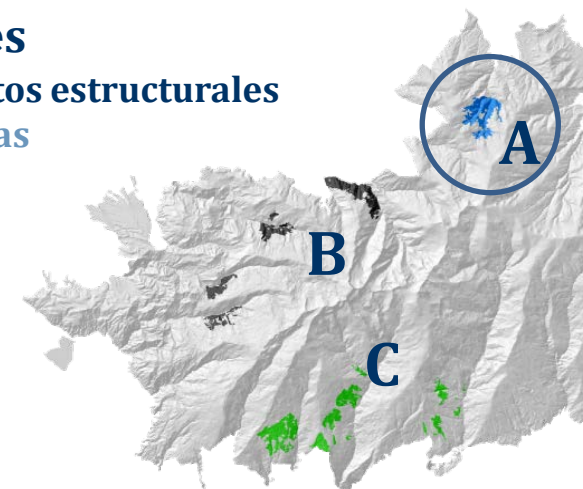
Composición



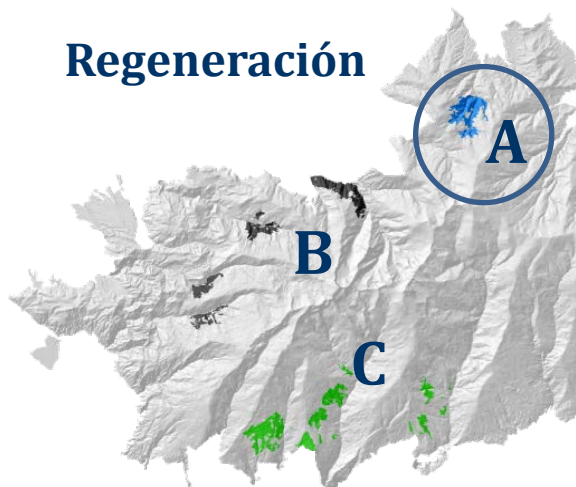
> Índice de Diversidad
> Riqueza

Estructurales

< Valor atributos estructurales
> FCC herbáceas



Regeneración

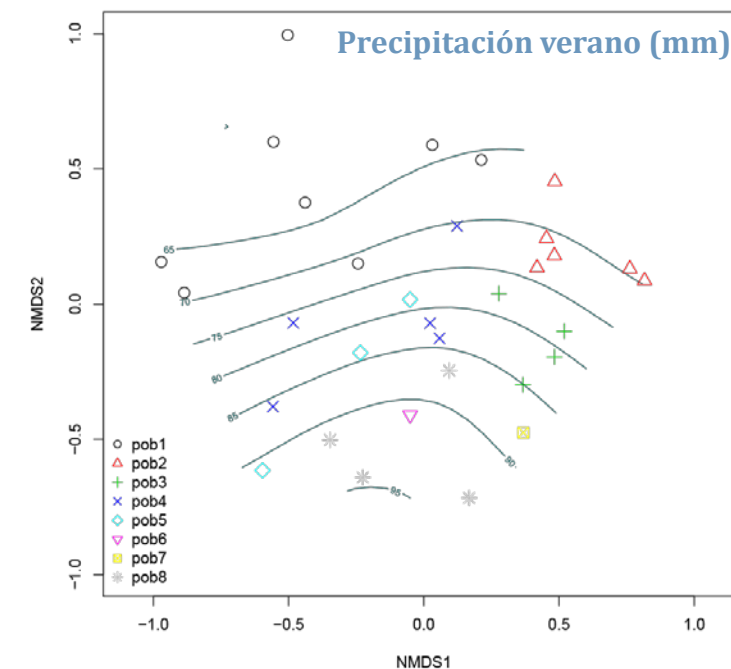


< regeneración total
< reg. Robles
> reg. Encinas

	estadístico	g.l.	p	Grupos (media \pm SD)		
				A	B	C
regTot	$\chi^2 = .183$	2	.913	19.38 \pm 6.25	47.56 \pm 16.16	32.67 \pm 15.82
sedQp	$\chi^2 = .389$	2	.823	7.62 \pm 3.21	46.39 \pm 16.16	29.17 \pm 16.30
sedQi	$\chi^2 = 3.389$	2	.143	5.75 \pm 3.40	0.17 \pm 0.09	3.50 \pm 2.08
fccTot	$\chi^2 = 4.447$	2	.108	7.50 \pm 0.57	8.50 \pm 0.54	8.67 \pm 0.99
fccTre	$F_{2,29} = 1.406$	2, 29	.261	1.75 \pm 0.62	3.33 \pm 0.58	2.67 \pm 0.80
fccShr	$F_{2,29} = 1.960$	2, 29	.159	2.75 \pm 0.86	4.50 \pm 0.51	5.33 \pm 1.54
fccHer	$\chi^2 = 11.183$	2	.004	6.50 \pm 0.60	2.83 \pm 0.51	4.33 \pm 1.12
denTre	$\chi^2 = 3.175$	2	.204	61.57 \pm 31.95	226.97 \pm 65.10	282.47 \pm 86.03
heiTre	$\chi^2 = 1.148$	2	.563	4.19 \pm 1.67	6.96 \pm 1.83	7.45 \pm 1.76
abaQp	$\chi^2 = 4.434$	2	.109	0.71 \pm 0.47	7.11 \pm 2.00	7.71 \pm 2.78
volQp	$\chi^2 = 3.632$	2	.163	7.50 \pm 4.92	90.05 \pm 29.24	76.66 \pm 34.22
shaEst	$\chi^2 = 2.088$	2	.352	0.85 \pm 0.06	0.92 \pm 0.04	0.93 \pm 0.04
rich	$F_{2,29} = 2.955$	2, 29	.068	16.62 \pm 1.95	11.72 \pm 1.21	14.17 \pm 0.70
shaSp	$\chi^2 = 8.670$	2	.013	2.27 \pm 0.17	1.57 \pm 0.13	1.83 \pm 0.09

Tabla 3.9. Diferencias entre las medias de los grupos para las diferentes atributos forestales. Se muestra el valor del estadístico (ANOVA o Kruskal-Wallis). Letras diferentes indican diferencias entre las medias de los grupos. ** <0.01

NMDS2: temperaturas (+) vs. topográficas (-)

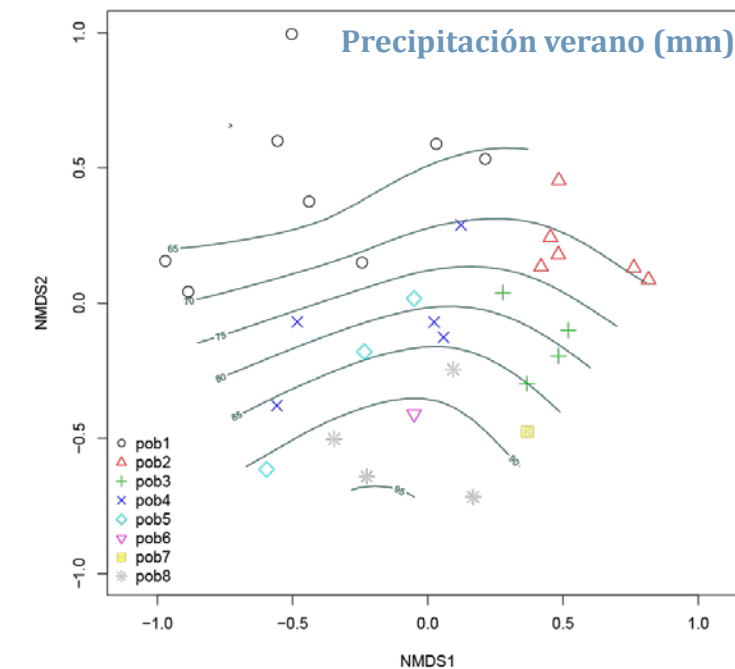
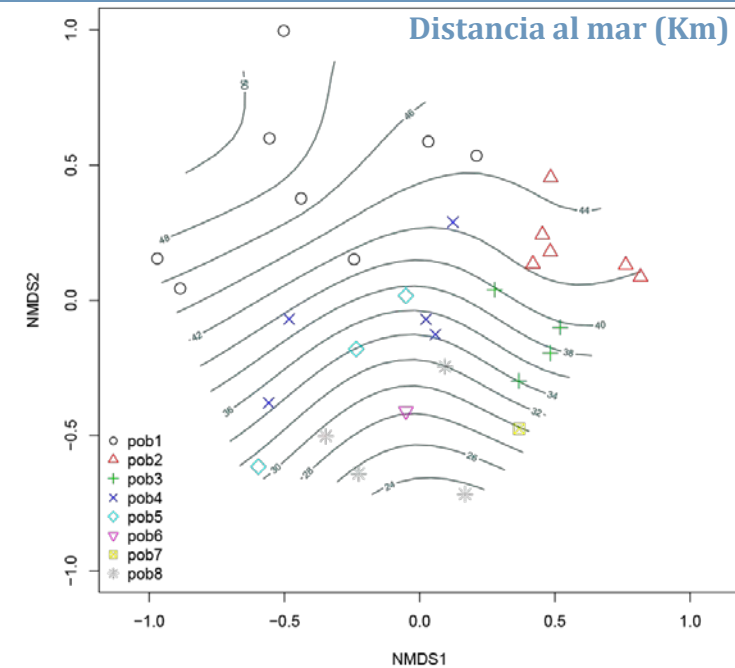
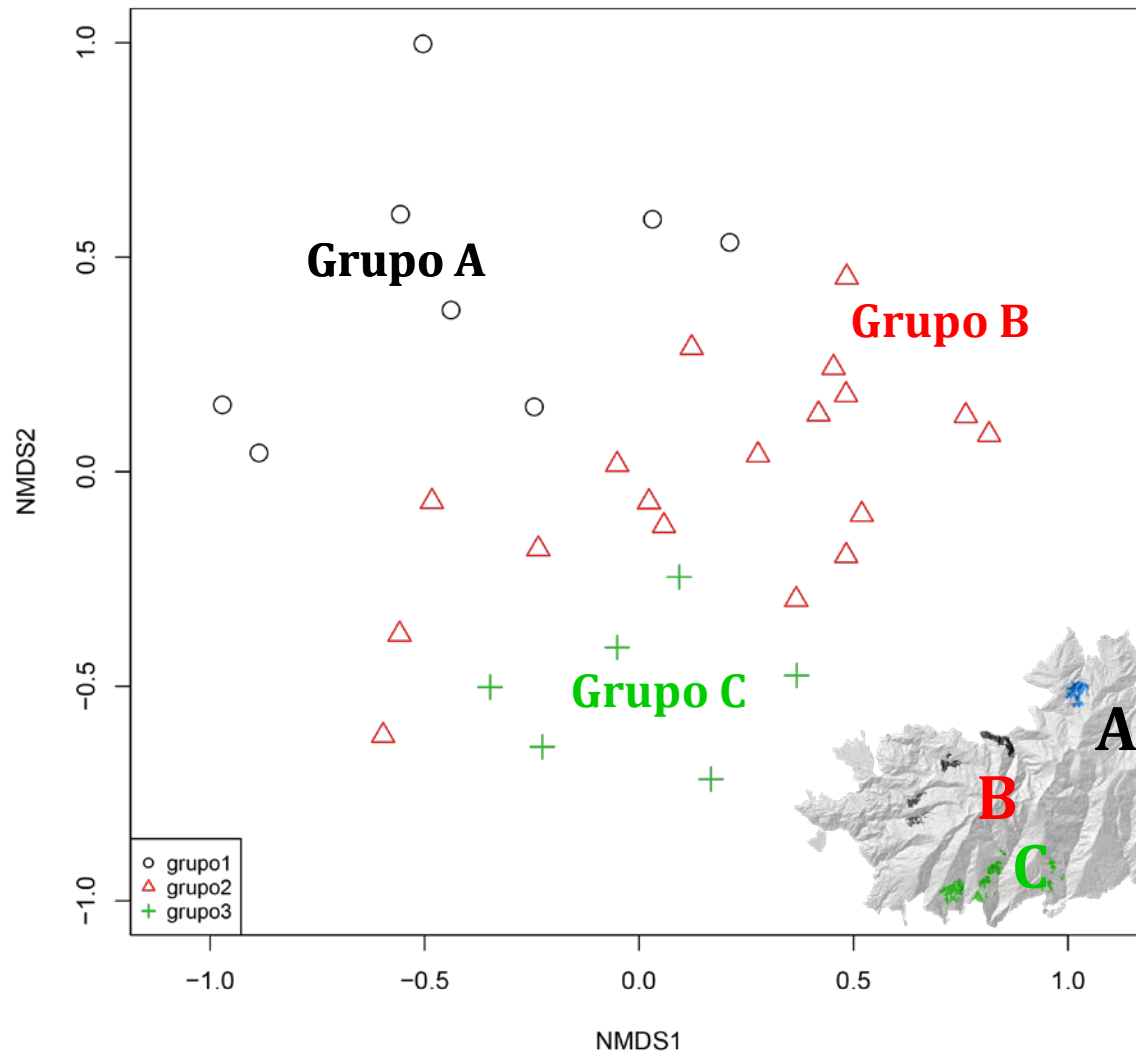




5. ¿Existe un agrupamiento basándonos en la composición florística de las poblaciones?

NMDS1: dis. mar (+) vs. precipitación (-)

NMDS2: temperaturas (+) vs. topográficas (-)





- 1. La distancia al mar y la precipitación son las variables que mejor explican la variabilidad observada en los robledales de Sierra Nevada., junto con factores topográficos (radiación) y de energía (temp.) en menor medida.**
- 2. Se han identificado tres grupos de poblaciones de robledal con un comportamiento ecológico bien diferenciado.**
- 3. La agrupación de las poblaciones según la composición florística concuerda con la agrupación arrojada atendiendo a variables ambientales.**

A la hora de abordar estudios utilizando los robledales de Sierra Nevada como objeto de estudio (ej. Proyecto MIGRAME) es necesario considerar tres grupos de poblaciones suficientemente diferenciadas desde el punto de vista ambiental y de composición de especies.

Las poblaciones de una misma sierra y muy próximas pueden tener un comportamiento ecológico diferente. Esta realidad debería ser considerada a la hora de realizar modelos de predicciones de cambios futuros

Gracias por su atención

+ info

ajperez@ugr.es

@ajpelu

ajperezluque.com

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto MIGRAME (RNM 6734) del Programa de Excelencia para la Investigación del Gobierno Andaluz. AJPL agradece la financiación recibida por el MICINN (PTA 2011-6322-I)

*Entréme donde no supe:
y quedéme no sabiendo,
toda ciencia trascendiendo*

San Juan de la Cruz. Poesías