

# ESCENARIOS FITOCENOLÓGICOS DE OBSERVACIÓN PARA EL SEGUIMIENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN SIERRA NEVADA

JOAQUÍN MOLERO MESA<sup>1</sup>, M. ROSA FERNÁNDEZ CALZADO<sup>1</sup>,  
ABDERRAHMANE MERZOUKI<sup>2,1</sup>, MANUEL CASARES PORCEL<sup>1</sup>  
M. REYES GONZÁLEZ-TEJERO GARCÍA<sup>1</sup>

## RESUMEN

La instalación en la alta montaña de escenarios para la observación, estudio y previsión sobre los efectos del cambio climático, tomando como base la flora y la vegetación, se ha desarrollado en Europa desde los inicios del presente siglo, teniendo en el proyecto GLORIA-EUROPE su mejor ejemplo. En dicho proyecto se instalaron, con una metodología estandarizada desarrollada por los propios investigadores, 18 *Target Regions* (zonas piloto), situadas en otras tantas montañas de Europa, una de ellas en Sierra Nevada. La continuación del control sobre esta zona piloto de Sierra Nevada (ES-SNE) y, sobre todo, la mejora de las observaciones a través de nuevos instrumentos, ha permitido instalar una segunda zona piloto (ES-SNN). En esta nueva fase de la investigación se incluye el seguimiento de la flora líquénica y el análisis de la actividad biológica de los suelos. Por último se ha establecido un nuevo gran escenario como observatorio: el piso de vegetación crioromediterráneo, que presenta una gran originalidad en su flora y vegetación. Recogemos en este trabajo el proceso de instalación y los resultados iniciales de control, junto con las conclusiones para la delimitación del piso crioromediterráneo.

**Palabras clave:** Flora, cartografía, actividad biológica suelos, piso crioromediterráneo

## SUMMARY

The scenarios installation in high mountains for the observation, study and forecast of the effects of climate change, on the basis of the flora and vegetation, was developed in Europe since the beginning of this century. The best example is the GLORIA-EUROPE project. According to a standardized methodology developed by the researchers, 18 Target Regions were established in 18 Europe's mountains, one of them in Sierra Nevada. The continued control over the pilot area of Sierra Nevada (ES-SNE), and especially the improvement of the observation through new tools, has allowed the installation of a second pilot area (ES-SNN). In this new stage, the investigation includes the monitoring of the lichenic flora and the analysis of soils biological activity. Finally, a new scenario has been established as observatory: the crioromediterranean belt, which presents a great originality in its flora and vegetation. We describe the installation process and the control initial results in the target zones. Also, we present the crioromediterranean belt delimitation conclusions.

**Key words:** Flora, cartography of the vegetation, soils biological activity, crioromediterranean belt.

<sup>1</sup>Departamento de Botánica. Universidad de Granada. 18071 Granada.

<sup>2</sup>Universidad Abdelmalek Essaâdi. Tetuán. Marruecos.

## INTRODUCCIÓN

La influencia del cambio climático sobre la biodiversidad del planeta ha sido resaltada en diferentes estudios desde finales del siglo pasado (OZENDA & BOREL 1991, GRABHERR *et al.* 1994, HANSEN *et al.* 2001, HOUGHTON *et al.* 2001, PEARSON & DAWSON 2003, ARAÚJO *et al.* 2005a, 2005b, THUILLER *et al.* 2006, BROENNIMANN *et al.* 2006), incidiendo en la vinculación entre dicho cambio con la fragmentación de los diferentes hábitats, la posible variación de las potencialidades de las especies y la alteración en las comunidades y su funcionamiento, previendo desplazamientos en altitud de taxones y ecosistemas

Las observaciones mantenidas en largos intervalos de tiempo, o las comparaciones con datos existentes tiempo atrás, vienen a confirmar que estamos asistiendo a un calentamiento en los ambientes de alta montaña (GRABHERR *et al.* 1994, 2001, PRICE & BARRY 1997, GÓMEZ ORTIZ 2004, etc.). Numerosos investigadores han destacado las zonas más altas de las montañas como uno de los lugares idóneos para observar el proceso actual de cambio climático (DULLINGER *et al.*, 2007, KÖRNER 1994, 2002, GRABHERR *et al.* 1994, 2001, THEURILLAT 1995, PAULI *et al.* 1999). Esto se debe a que, entre otras razones, estas regiones muestran unos gradientes ecológicos acusados, ecotonos estrechos y comprenden ecosistemas sencillos, dominados por factores abióticos relacionados con el clima. Estos ambientes incluyen hábitats naturales, con ecosistemas poco modificados por la influencia directa del hombre (PAULI *et al.* 2003a).

El establecimiento de una red mundial para la observación e investigación comparada, a largo plazo, del impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de la alta montaña, a través de una metodología estandarizada común, es el objetivo de GLORIA (<http://www.gloria.ac.at>), acrónimo de la *Iniciativa para la Investigación y el Seguimiento Global de los Ambientes Alpinos (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments)* (GRABHERR *et al.* 2000, PAULI *et al.* 2003b).

La primera aplicación a gran escala y la elaboración de un manual en el que se describe la meto-

dología en el trabajo de campo (PAULI *et al.* 2003b) fue la base del proyecto GLORIA-EUROPE (EVK2-CT-2000-0056), financiado por el V RTP Programa Marco de la Unión Europea. Durante su desarrollo, entre 2000 y 2003, se establecieron 18 zonas piloto en 13 países de la UE. Una de ellas quedó establecida en Sierra Nevada (ES-SNE), siendo nuestro grupo de investigación el responsable de su control y seguimiento. Cada zona piloto comprende la instalación de observatorios en cuatro cimas según un gradiente altitudinal de acuerdo con la metodología establecida por los componentes del proyecto.

En la consideración de que Sierra Nevada posee unas características muy peculiares en relación al resto de zonas piloto (localización geográfica, clima mediterráneo en toda su superficie, alta concentración de especies y biodiversidad florística), especialmente en sus zonas más elevadas, donde el piso de vegetación superior, crioromediterráneo (RIVAS MARTÍNEZ 2007), constituye el mejor ejemplo en toda la región Mediterránea, propusimos en 2003 a la Red de Parques Nacionales la posibilidad de establecer, a través del proyecto "*El cambio climático en Sierra Nevada a partir de escenarios fitocenológicos, especies y comunidades vegetales indicadoras y la evaluación de la actividad biológica de los suelos en el piso crioromediterráneo (ciclos de C y N)*", una ampliación de los escenarios de observación, con la instalación de una segunda zona piloto y completar las observaciones con la flora líquénica y el estudio de la potencialidad de los suelos de las cimas. Al mismo tiempo, establecer un escenario de observación único y diferente: las altas cumbres, consideradas como las más sensibles y vulnerables a los efectos del cambio climático (GRABHERR *et al.* 2000, FERNÁNDEZ GONZÁLEZ *et al.* 2005), es decir, el conjunto del piso crioromediterráneo. Para ello, como paso previo a la realización de una cartografía digital de la vegetación a escala 1: 10.000, ha sido necesario delimitar la flora y las comunidades vegetales que lo individualizan.

## OBJETIVOS

El objetivo general, al igual que en el proyecto GLORIA, ha sido establecer estaciones de obser-

vación a largo plazo que permitan aportar datos sobre la flora y la vegetación de las cumbres de Sierra Nevada, con el fin de prever los posibles riesgos de pérdida o cambios en la flora y en los ecosistemas de la alta montaña en respuesta a las modificaciones ambientales que se produzcan.

Otros objetivos específicos han sido:

- a) Definir los límites del piso de vegetación crioromediterráneo, gran superficie culminar a la que consideramos como estación de observación en su totalidad.
- b) Delimitar claramente la flora y las comunidades vegetales presentes en el territorio, puesto que son la base para definir el piso de vegetación.
- c) Establecer, dentro de la Red GLORIA, una segunda zona piloto (ES-SNN) en Sierra Nevada, que permita ser más precisos en las observaciones y en las previsiones, lo que implicaba la búsqueda y selección de cuatro cimas situadas por encima del límite de los árboles, es decir, a partir del piso oromediterráneo, o piso previo, exento de arbolado, que precede en altitud al crioromediterráneo.
- d) Aumentar la toma de datos, en las dos zonas piloto, incluyendo el control de la flora líquénica y evaluando la actividad biológica de los suelos en cada una de las ocho cimas instaladas en Sierra Nevada.
- e) Disponer de un control sobre los cambios que se producirán en la flora y la vegetación, a través del análisis de su relación con los datos termométricos que se vayan registrando en el tiempo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio está situada en el denominado núcleo central de Sierra Nevada (fig. 1), comprendiendo las altitudes superiores a los 2.600 m, e in-

cluyendo las cotas más elevadas de esta montaña (Mulhacén, 3.481 m). Para la delimitación del territorio a estudiar se fijó como criterio el que quedara incluida, con márgenes de error por exceso, la superficie ocupada por la serie de vegetación *Eriogonon frigidum-Festucetum clementei sigmetum*, que ocupa las cumbres nevadenses en el Mapa de las Series de Vegetación de España, escala 1:400.000 (RIVAS MARTÍNEZ 1987), puesto que venía a señalar, independientemente de los errores debido a la escala, el dominio del piso crioromediterráneo. La cartografía de la vegetación efectuada sobre esta superficie comprende 8.788,6 hectáreas. Desde un punto de vista biogeográfico, la zona de estudio se sitúa en la Provincia Bética, sector Nevadense (RIVAS MARTÍNEZ 2007).

Áreas de estudio más específicas, dentro del área general, han sido las cimas que comprenden las dos zonas piloto (*Target Regions*) de la Red GLORIA. Las de la zona ES-SNE: Cerro de los Machos, 3.227 m (MAC); Tosal Cartujo, 3.150 m (TCA); Cúpula, 2.968 m (CUP) y Pulpitito, 2.778 m (PUL). Estas cimas se sitúan en la parte occidental del macizo, mientras que las componentes de la nueva zona, ES-SNN, quedan ubicadas más al norte y a levante: Cuervo, 3.144 m (CUE); Diegisa, 2.800 m (DIE); Mirón, 2.760 m (MIR) y Monte Rosa, 2.668 m (MOR).

### Metodologías

La existencia de objetivos diversos ha provocado la aplicación de varios métodos que se han aplicado a los distintos objetos de estudio:

#### a) Instalación de zonas piloto: selección de cimas, muestreo florístico y registro de temperaturas

La metodología seguida en la instalación de las zonas piloto se explica de forma extensa y detallada en el Manual de Campo del proyecto GLORIA (PAULI *et al.* 2003b), (<http://www.gloria.ac.at>).

De acuerdo con el citado método, las cimas deben cumplir ciertos criterios para ser seleccionadas como lugares de muestreo (morfológicos, altitudinales, etc.). Una vez escogidas, el primer paso es la delimitación en ellas de las áreas de estudio.

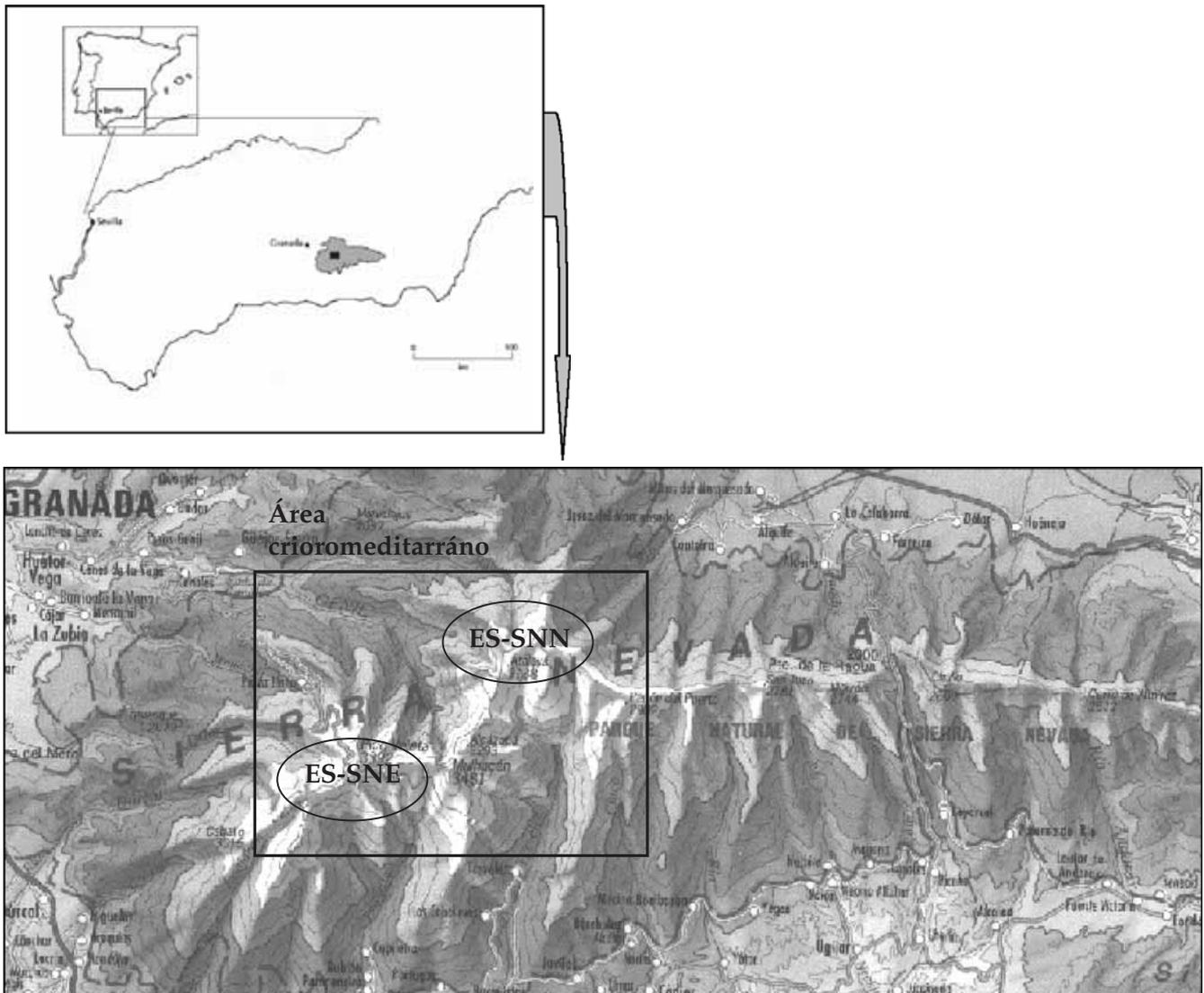


Figura 1. Área de estudio del piso criomediterráneo y Target Regions (ES-SNE y ES-SNN).

Figure 1. Cryomediterranean belt: study area and Target Regions (ES-SNE y ES-SNN).

En cada una de las cimas se define un polígono con cuatro esquinas situadas, cada una, en cada uno de los puntos cardinales (N, S, E y W), a 10 m por debajo del punto más alto de la cima (HSP). Dentro de cada una de estas áreas se define, de la misma forma, otra área a 5 m del HSP. Se delimitan así 8 áreas por cima (a 5 y 10 m de la cumbre, en cada una de las orientaciones), realizándose un inventario completo de las especies vegetales existentes y su cobertura (fig. 2).

La evaluación cuantitativa de la composición florística de cada cima se sitúa en 4 cuadrados de 3×3 m en el interior del área de 5 m junto a la línea principal que señala la exposición - orientación (puntos cardinales, N, E, S y O). (fig. 3)

Dentro de cada cuadrado de 3×3 m, referido a una determinada exposición, el seguimiento de la composición florística se realiza en los 4 cuadrados de las esquinas, de 1 m<sup>2</sup>. En total 16 cuadrados por cima y 128 cuadrados para la zona piloto de Sierra Nevada (64 cuadrados del proyecto Gloria, más 64 establecidos en el marco del proyecto de la Red de Parques Nacionales).

En las cuatro esquinas (cuadrados de 1×1 m) se recogen los datos referentes a la vegetación a través de la frecuencia (presencia-ausencia) de los taxones existentes y su cobertura a escala de 10 cm<sup>2</sup>, tras la subdivisión del cuadrado de 1 m<sup>2</sup> en 100 celdillas de 10 cm×10 cm (fig. 4). En el cuadrado central se instala, a 10 cm de profundidad,

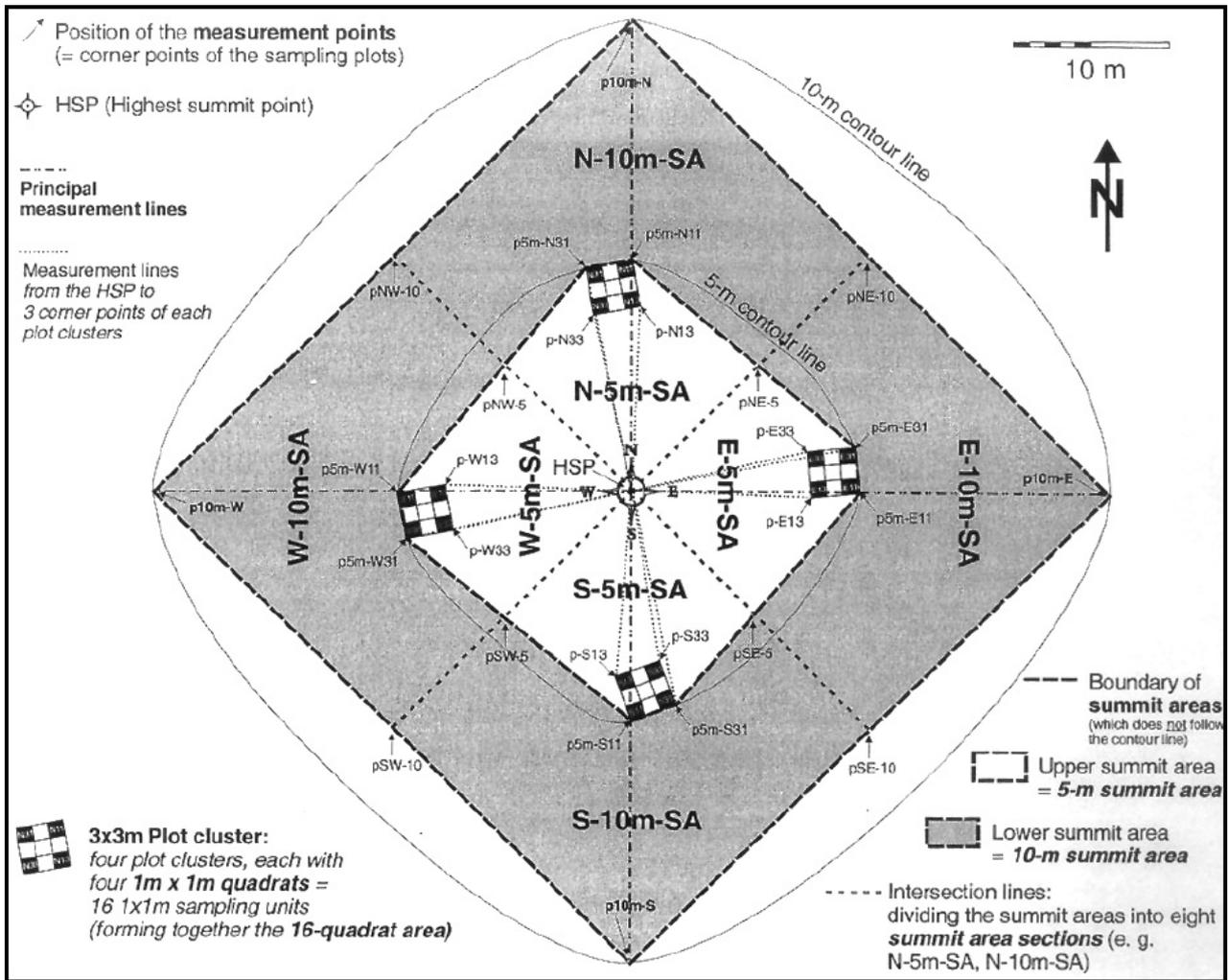


Figura 2. Diseño esquemático del muestreo en las cimas.

Figure 2. Schematic design of the sampling in the summits.

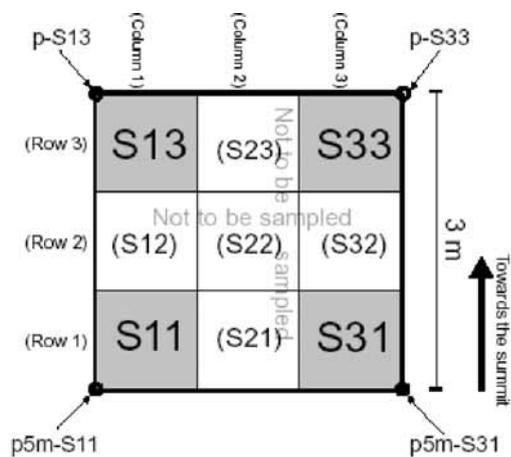
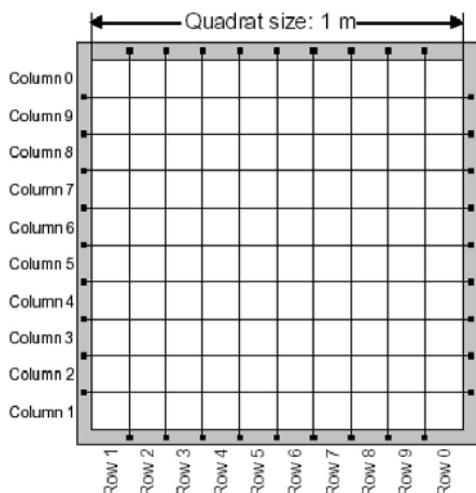


Figura 3. Cuadrado 3x3 m.

Figure 3. 3x3 m quadrat cluster.





**Figura 4.** Cuadrado 1x1 m. Celdas de 10x10 cm.

**Figure 4.** 1x1 m quadrat. 10x10 cm cells.



un termómetro que medirá la temperatura a intervalos de 1 h.

La delimitación y el muestreo son documentados en todo momento con fotografías para facilitar investigaciones posteriores. Los 4 cuadrados restantes, donde no se toman datos, permiten poder acercarnos, fotografiar y tomar los datos con la menor distorsión posible, sin afectar a los cuadrados de las esquinas.

#### b) Análisis y seguimiento de la flora líquénica de las cimas

La metodología para el estudio y seguimiento de la flora líquénica se ha desarrollado, al igual que para la toma de datos cuantitativos referentes a la composición florística de cada exposición, en los cuadrados de 1x1 m situados en las esquinas de los cuadrados de 3x3 m.

En cada uno de ellos, un total de 128 cuadrados distribuidos en 8 cimas, se ha efectuado un inventario cualitativo de la flora líquénica. En el reconocimiento florístico se ha seguido un protocolo derivado del método fitosociológico propuesto por CLAUZADE & ROUX (1975), que consiste en realizar un inventario visual del área a simple vista para detectar las principales especies y posteriormente realizar un recorrido en zigzag sobre la superficie con una lupa de 15X de manera que puedan detectarse los talos menos desarrollados.

Como no siempre es posible reconocer todas las especies líquénicas mediante el estudio visual, en los casos en que la identificación podía ser problemática se han tomado muestras coincidentes de las áreas vecinas para proceder a la identificación de los especímenes en el laboratorio. Esto permite reducir bastante la ambigüedad de las determinaciones.

Para el seguimiento a medio y largo plazo se ha seleccionado, dentro de cada uno de los cuadrados de muestreo, en una zona lo más estable posible, un área de 10x10cm en la que existiese un talo de líquen bien desarrollado. Esta área se ha situado fotográficamente en relación con los vértices del cuadrado y posteriormente se ha fotografiado, superponiéndole un cuadrado graduado que permita cuantificar el área cubierta por el talo y tomar medidas de diámetro, cobertura etc. El objeto de este proceso es disponer de una serie de talos identificables y hacer una monitorización de su crecimiento, tratando de establecer la relación entre este y los valores termométricos disponibles.

#### c) Recogida y análisis de suelo

Se han tomado muestras de suelo, en el horizonte 0-10 cm, de cada parcela de 3x3 m. A fin de preservar las parcelas, se ha recogido suelo de las cuatro márgenes exteriores de cada una de ellas, seguidamente se mezclaron y tamizaron a 4 mm. De esta forma se obtuvieron un total de 32 mues-

tras, 4 por cima y 16 por zona piloto, con un peso aproximado de 2,5 Kg. cada una.

El análisis de la actividad biológica del suelo se ha efectuado a partir de la biomasa microbiana existente, ya que es una reserva potencial que puede ser utilizada por las plantas.

#### *Estimación de la biomasa microbiana*

El método utilizado se basa en técnicas biocidas que consisten en esterilizar el suelo por tratamiento (fumigación) con vapor de cloroformo. La técnica adoptada es la desarrollada por JENKINSON & POWLSON (1976), modificada por CHAUSSOD & NICOLARDOT (1982) y MERZOUKI *et al.* (1990b). La población microbiana muerta va a constituir una contribución de materia orgánica al suelo. La nueva población microbiana mineralizará los cadáveres, con un aumento en la liberación de CO<sub>2</sub> y nitrógeno amoniacal que se mide después de 10 días de incubación a 25 °C en cámara climatizada. Esta adición de CO<sub>2</sub> de la muestra fumigada con relación al suelo control es proporcional a la biomasa microbiana del suelo. Teniendo en cuenta la diferencia entre el CO<sub>2</sub> emitido después de 10 días de incubación por el suelo fumigado y el suelo control, el carbono de la biomasa microbiana (C-BM) está relacionado con el coeficiente de mineralización KC. (KC=0,45)

#### *Expresión de los resultados*

La biomasa microbiana (C-BM) se calcula a partir de la fórmula siguiente:

**C-BM= (C-CO<sub>2</sub> F) – (C-CO<sub>2</sub> T) /KC**, siendo:

C-BM: Carbono de la biomasa microbiana

C-CO<sub>2</sub> F: Carbono del CO<sub>2</sub> del suelo fumigado

(C-CO<sub>2</sub>) T: Carbono del CO<sub>2</sub> del suelo control no fumigado

KC: Coeficiente de mineralización = 0,45

El nitrógeno de la biomasa microbiana (N-BM) se calcula a partir de la fórmula siguiente:

**N-BM= (N-BMF) – (N-BMT) /KN**, siendo:

N-BM: Nitrogeno de la biomasa microbiana

N-BM F: Nitrogeno del suelo fumigado

N-BMT: Nitrogeno del suelo control no fumigado

KN: Coeficiente de mineralización = 0,68

#### *Mineralización del carbono*

El proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo (MOS) se estima siguiendo, durante períodos determinados, la respiración del suelo a través de la captación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado. Los períodos de incubación de los suelos son de 10 días en condiciones controladas de 28° C y 80% de humedad relativa de los suelos.

#### *Mineralización del nitrógeno*

La actividad de mineralización del nitrógeno puede evaluarse de distintas formas. Nosotros hemos observado la mineralización del nitrógeno por vía directa, incubando las muestras de suelo y midiendo las cantidades del nitrógeno mineral producidas (amonio y nitrato) en condiciones controladas en cámara de cultivo. Este test es el más comúnmente utilizado (MERZOUKI *et al.* 1989, 1989b, 1990a) y permite la estimación de las dos formas minerales del nitrógeno, amonio y nitrato, aunque tiene el inconveniente de subestimar la actividad de la mineralización (mineralización potencial). La disponibilidad potencial en nitrógeno se evalúa en condiciones óptimas de temperatura y humedad.

#### *Extracción y dosificación*

El nitrógeno mineral del suelo es extraído por una solución de sulfato de potasio normal (N), donde la proporción extractante/suelo es de 5/1. La mezcla extractante/suelo se agita durante una hora, centrifugando a 4000T/min., durante 15 minutos, realizándose posteriormente el filtrado.

Para la medida del amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), el extracto se recupera en ácido sulfúrico concentrado (36N) en razón de un 2%. Para la medida del nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) el extracto se recupera en una solución de sulfato de cobre acidificada en razón de un 10%. El amonio y los nitratos resultantes de las extracciones se determinan calorimétricamente, según la técnica de Berthelot (CHARLOT 1960), basada en la ley de Beer-Lambert. El nitrógeno total se determina según la técnica clásica de Kjeldahl.

*Expresión de los resultados:*

$$N-NH_4^+ = N-NH_4^+ (t+1) - N-NH_4^+ i(t)$$

$$N-NO_3^- = N-NO_3^- (t+1) - N-NO_3^- i(t)$$

$$N\text{-mineral total} = N-NH_4^+ + N-NO_3^-$$

N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: producción de Amonio después de un período de incubación

N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: producción de nitratos después de un período de incubación

#### d) Reconocimiento de la flora y vegetación

Debido al conocimiento previo que el equipo de trabajo tenía de la flora de las cumbres de Sierra Nevada, la toma de muestras para su determinación ha sido muy escasa. El estudio de la flora no se ha limitado a las zonas piloto, sino que ha abarcado la superficie crioromediterránea y buena parte de la del piso oromediterráneo. Se ha procurado seguir la nomenclatura propuesta en la obra "Flora Ibérica" (CASTROVIEJO *et al.* 1986-). Cuando no ha sido posible, se recoge el nombre del taxón, con el rango y autoría que consideramos correcta.

Se han reconocido las comunidades vegetales de acuerdo a su descripción previa que, en Sierra Nevada, ha sido efectuada por diversos autores (QUÉZEL 1953, PRIETO 1971, LOSA QUINTANA *et al.* 1986, MARTÍNEZ PARRAS *et al.* 1987, CASARES PORCEL 1988, MOLERO MESA 1999, etc.), siguiendo siempre la metodología fitosociológica (GEHU & RIVAS MARTÍNEZ 1981). De esta forma, al estar las comunidades definidas de acuerdo con este método, hablamos, propiamente, de asociaciones.

#### e) Cartografía de la vegetación

La metodología seguida para la elaboración de la cartografía de detalle (1:10.000), en formato digital, se estructura en varias fases: fotointerpretación, trabajo de campo y restitución cartográfica.

##### *Fotointerpretación*

Se ha realizado la fotointerpretación de ortoimágenes, provenientes de la Ortofotografía Digital

de Andalucía, correspondientes a la provincia de Granada, generadas a partir del vuelo fotogramétrico blanco y negro a escala aproximada 1:20.000 del año 2001-2002 (Junta de Andalucía).

Este proceso ha sido desarrollado directamente sobre la pantalla del ordenador, utilizando como programa el SIG ArcView en su versión 3.3. Se procedió a la delimitación de las unidades cartográficas correspondientes incluidas en las 16 hojas a escala 1:10.000 siguientes: 102713, 102714, 102722, 102723, 102724, 102731, 102732, 102733, 102734, 102741, 102742, 102743, 102812, 102822, 102813, 104221.

Paralelamente a este primer paso, se inició el diseño de una base de datos (Access) donde ha quedado recogida la totalidad de la información asociada a cada uno de los polígonos creados en el proceso de fotointerpretación. Esta información se organiza en campos codificados numéricamente.

##### *Trabajo de campo*

Durante la fase de campo se han realizado recorridos para identificar y comprobar los polígonos, así como recoger y compilar la información correspondiente a cada uno de ellos. Para ello se han realizado:

- Visitas a los polígonos fotointerpretados para identificar y corregir, en su caso, los límites previamente establecidos.
- Recopilación de datos de la flora y vegetación de los polígonos mediante inventarios fitosociológicos y listados de especies vegetales. Se han realizado un total de 296 inventarios.
- Otras observaciones y toma de datos florísticos.

##### *Restitución cartográfica*

Una vez obtenida la información en el campo se han efectuado las correcciones correspondientes sobre las ortoimágenes y se ha completado la base de datos relacionada con la cobertura digital.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uno de los objetivos básicos del proyecto de investigación ha sido la instalación, de acuerdo con el protocolo estandarizado GLORIA, de una nueva zona piloto (*Target Region*) y la incorporación del estudio y control de la flora líquénica a dicho protocolo. Esta instalación ya constituye, en si misma, un resultado del proyecto. Sólo la observación, estudio y análisis a medio y largo plazo nos indicará si la hipótesis inicial de utilizar este protocolo para detectar y estimar proyecciones futuras sobre el cambio resultará adecuada. Por el momento solo podemos expresar los datos obtenidos de esta instalación y evaluación inicial.

### Zonas piloto ES-SNE y ES-SNN

La naturaleza metamórfica del núcleo central de Sierra Nevada, donde se incluyen la totalidad de cimas de ambas zonas, ha dado lugar a una gran homogeneidad en la naturaleza de los sustratos, en

general dominados por los micaesquistos. No obstante, la existencia de ciertos afloramientos calcáreos ha provocado que la flora de una de las cimas (PUL), esté influenciada por este hecho, presentando especies poco habituales en el territorio estudiado. El conjunto de taxones censados en las ocho cimas representan una referencia importante sobre las condiciones de estas cimas, aisladas y que no reciben más aporte hídrico que el proveniente de las precipitaciones. En el anexo 1 se recoge el listado de especies censadas en los diez metros superiores de las ocho cimas (puntos de observación).

Un somero análisis florístico nos permite observar que hasta 29 familias y 84 géneros distintos están representadas en estas condiciones de cumbre, contabilizándose un total de 102 taxones a nivel de especie y subespecie.

En la figura 5 queda reflejada la composición por familias y géneros, destacando; *Asteraceae*, con 14 géneros distintos, *Brassicaceae*, con 11, *Poaceae*, 11 y *Caryophyllaceae* y *Lamiaceae* con 6.

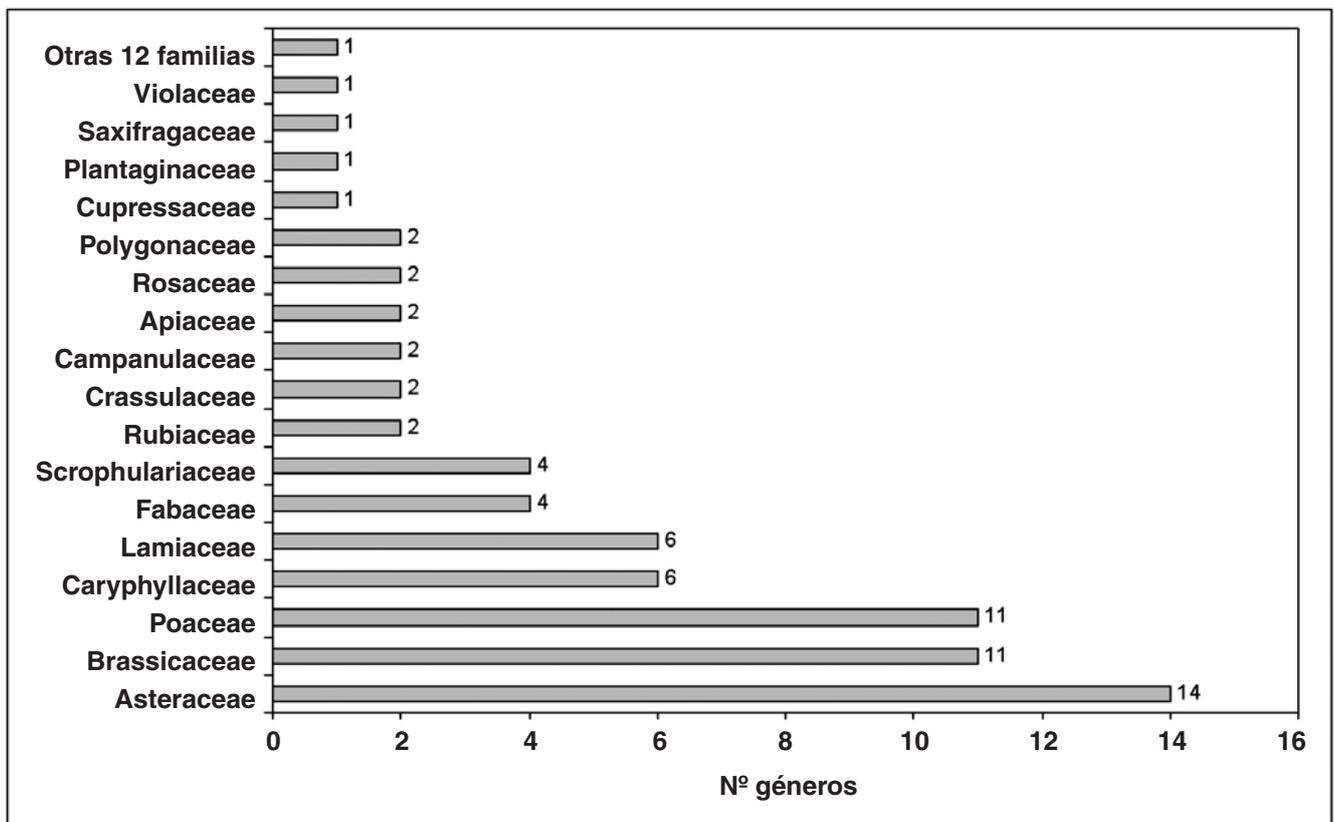


Figura 5. Espectro florístico en las *Target Regions*.

Figure 5. *Target Regions*: floristic spectrum.

La presencia de las especies en cada una de las cimas es bastante variable y, en general, la disminución de taxones va asociada al incremento de la altitud. Lo mismo sucede con la cobertura que provocan. Del estudio de estos datos, recogidos en la tabla 1, se pone de manifiesto como

un incremento importante de la cobertura, como sucede en MOR, produce una disminución apreciable en el número de taxones y, también, cómo las cimas situadas en un nivel intermedio son las que, proporcionalmente, mayor biodiversidad albergan.

	MAC	TCA	CUP	PUL	CUE	DIE	MIR	MOR
Altitud (m s n m)	3.327	3.150	2.968	2.778	3.144	2.800	2.717	2.668
Riqueza de especies por cima	18	40	52	47	25	48	65	39
Porcentaje de cobertura por cima	4,9	15	17,5	18,7	4,89	19,87	15,37	31,25
Endemismos estrictos	12	22	25	11	12	19	17	12
Porcentaje Endemismos estrictos	66,6	55	48,08	23,4	48	39,59	26,15	30,77
Endemismos béticos	3	6	7	12	4	8	11	5

**Tabla 1.** Riqueza en taxones y endemismos estrictos y Béticos en las cimas objeto de estudio.

**Table 1.** Studied summits: richness of taxa and exclusive and betic endemisms.

ES-SNN: Monte Rosa, 2.668 m (MOR); Mirón, 2.760 m (MIR); Diegisa, 2.800 m (DIE) y Cuervo, 3.144 m (CUE). ES-SNE: Pulpitito, 2.778 m (PUL); Cúpula, 2.968 m (CUP), Tosal Cartujo, 1.150m (TCA) y Los Machos, 3.227 m (MAC).

En relación al área de distribución de las especies de las cimas, se ha comprobado la existencia de 34 taxones endémicos exclusivos de Sierra Nevada y otros 16 que se extienden, en mayor o menor grado, por el resto de montañas béticas, donde la predominancia de sustratos de naturaleza calcárea es manifiesta.

En la misma tabla se recoge el número y proporción de estos endemismos en cada una de las cimas, observándose que, en general, la proporción de endemismos aumenta con la altitud (siendo de hasta un 66,6% en MAC) y también como la proporción entre los dos tipos de endemismos se hace menor hacia las altitudes menores. Como dato particular, en PUL, donde hay afloramientos calcáreos, los endemismos béticos son mayoritarios respecto a los estrictamente nevadenses.

En el verano de 2008, después de 7 años transcurridos, las cimas integrantes de la región ES-SNE han vuelto a ser investigadas, con el propósito de controlar los posibles cambios que hayan acaecido en su flora. Estos datos aún están en fase de análisis por lo que, en un futuro, se podrán extraer conclusiones más concretas sobre ellos. De forma general se ha observado una disminución en el número de especies por cima: PUL: 47 a 43 taxones; CUP: 52 a 48; TCA: 40 a 37; MAC: 18 a 16. Actualmente sabemos que del total de taxo-

nes existentes en 2001 se han perdido 9 y han sido 7 las nuevas incorporaciones.

En lo referente a los datos termométricos se posee un registro de 7 años completos de temperaturas, con intervalos de 1 hora, para las cimas integradas en ES-SNE y de 3 años para las cimas de ES-SNN. En el ejemplo referido a la cima de los Machos (MAC) (figura 6), se observa como las orientaciones N y W son las que presentan, en general, temperaturas menores en el invierno y verano. De forma contraria, S y E son las orientaciones más cálidas en el invierno y con mayores temperaturas en el verano.

En relación con esto, uno de los objetivos iniciales establecía el análisis de los datos termométricos en relación con la flora existente en las cimas. Actualmente, estos datos están siendo analizados por diferentes vías

### Flora líquénica

El censo de líquenes efectuado en las ocho cimas nos ha dado el siguiente resultado, expresado en número de taxones por cima: MAC, 32; TCA, 12; CUP, 15; PUL, 19; CUE, 17; DIE, 18; MIR, 29; MOR, 18.

La mayoría de los cuadrados estudiados están dispuestos sobre uno de los sustratos más típi-

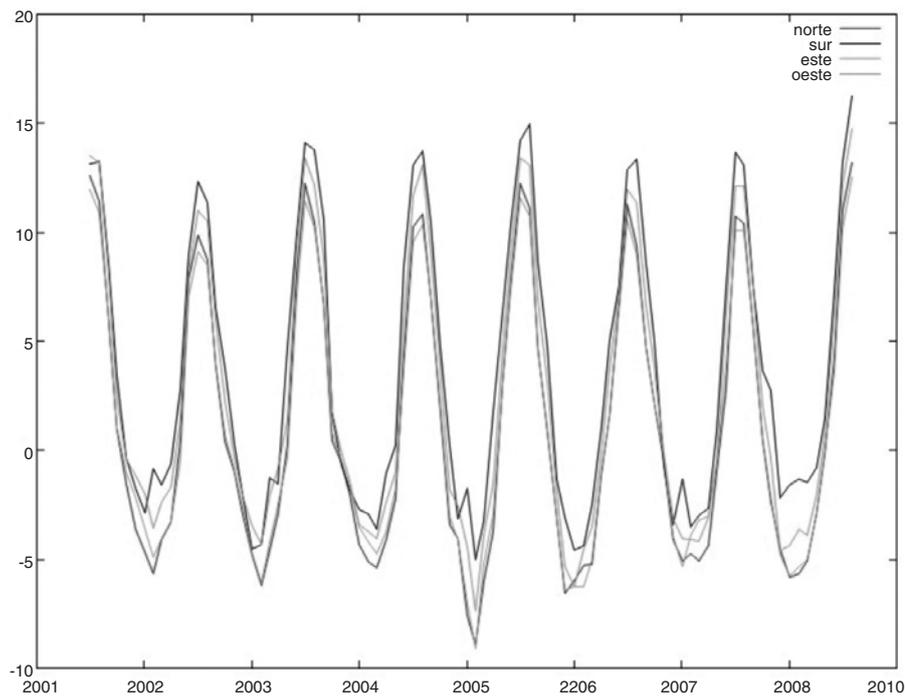


Figura 6. Datos termométricos correspondientes a la cima MAC.

Figure 6. Summit MAC: thermometric data.

cos de la alta montaña nevadense, un pedregal moderadamente móvil, en el que pequeños bloques de esquisto alternan con algunos trozos de mediano tamaño, algo más estables, pero que no suelen sobresalir más de 50 cm sobre la superficie del suelo. Sólo en una localidad (MAC) el substrato es un roquedo compuesto por grandes bloques de más de 1 m de diámetro que producen un paisaje de aspecto ruinoso.

El substrato en todas las localidades es un micaesquisto con nódulos de cuarcita y siderita, de naturaleza silíceo. Una sola localidad (PUL) presenta un substrato distinto constituido, mayoritariamente, por una roca metamórfica, de aspecto esquistoso pero con un elevado contenido en carbonatos.

Las comunidades estudiadas están compuestas por especies quionófilas y nitrófilas ya que la horizontalidad y la proximidad a la superficie del suelo determinan una prolongada duración de la cobertura nival y un alto grado de contacto con los detritus depositados en la superficie del suelo. La comunidad está dominada por tres especies muy frecuente en Sierra Nevada: *Rhizo-*

*placa melanophthalma*, de talo verdoso y apotecios oscuros, *Lecanora polytropa* de talo amarillento con grandes apotecios del mismo color y *Lecidea atrobrunnea* uno de los líquenes con mayor presencia en las rocas de las zonas más elevadas, fácilmente reconocible por su talo pardo oscuro y sus apotecios negros.

Cuando los trozos de roca son de pequeño tamaño y están sometidos a un cierto movimiento, las especies presentes suelen ser colonizadoras primarias y presentan talos de escaso desarrollo y poco aparentes. Las especies más significativas en este ambiente son; *Lecidea promiscua* ssp. *promiscens* y *Lecidea auriculata*, ambas muy poco llamativas, cuyo talo, a veces, es prácticamente inexistente, ya que se reduce a unas pocas areolas blanquecinas próximas a los apotecios negros, de menos de 1mm de diámetro. Frecuentemente se acompañan por varias especies amarillas del género *Rhizocarpon*. Estas comunidades pueden incluirse en la alianza *Rhizocarpon alpicolae*, y más concretamente en la asociación *Rhizocarpetum alpicolae*. Aunque el tipo de muestreo no se ha diseñado para realizar un estudio fitosociológico la mayoría de las estaciones muestran una comuni-

dad bastante próxima a la subasociación *Rhizocarpetosum sphaerospori*, descrita para el Sistema Central.

Las zonas verticales de los bloques de mediano tamaño y las pocas localidades con grandes bloques muestran una flora diversa, con líquenes quionóforos como *Lecanora rupícola*, *Sporastatia testudinea* o *Pleopsidium flavum* y varias especies de *Umbilicaria*.

Sobre los sustratos carbonatados el aspecto de la población líquénica es algo más variado que sobre los esquistos. Las comunidades se enriquecen en elementos con grandes talos blancos como *Lecanora muralis* o *Lecidella carpática* y una interesante corte florística con especies poco citadas en la bibliografía española como *Lecidella patavina*, *Sarcogyne privigna* v. *calcicola* o *Staurothele areolata*. En las fisuras aparece *Collema crispum*, uno de los pocos comófitos recogidos. El espectro específico, aunque no está claramente definido, muestra afinidades con la clase *Verucarietea nigrescentis*, sobre todo con la asociación *Aspicilietum contortae*, definida para recoger las comunidades hemitrófilas que colonizan los pequeños bloques calcáreos móviles en la superficie del suelo

Un primer estudio de la cobertura líquénica permite distinguir claramente una baja presencia de líquenes en los cuadrados expuestos al este y una mayor riqueza en los situados en exposición norte.

### Actividad biológica potencial de los suelos

En estudios experimentales se ha demostrado que el aumento de la temperatura incrementa, en general, el índice de respiración del suelo y, por tanto, la pérdida de carbono del suelo debido a las tasas crecientes en la descomposición. Este aumento varía desde el 15 hasta el 45% en diversos hábitats. La pérdida más importante se registra en los ecosistemas localizados en latitudes norte, donde los procesos de la descomposición están limitados por la temperatura, aunque los estudios experimentales hasta la fecha no hayan apoyado siempre esta hipótesis. La respiración del suelo, asociada al proceso de descomposición y las actividades ligadas al sistema radicular de las plan-

tas, explica la pérdida de dos tercios del carbono en los ecosistemas terrestres (LUO & ZHOU 2006).

Para entender como el cambio de clima afecta al carbono del suelo y a su ciclo, se necesita la apreciación de los procesos subyacentes afectados. El cambio total en carbono del suelo viene determinado por el equilibrio entre las entradas del carbono de la fotosíntesis y las pérdidas provocadas por la descomposición y los procesos hidrológicos, incluyendo la erosión (EEA 2003). El primer efecto del cambio climático será sobre los procesos de fijación del carbono atmosférico y su transferencia al suelo, es decir la producción de biomasa, plantas y mantillo. El aumento del CO<sub>2</sub> y de los nutrientes favorecerá la producción de biomasa y tendrán efectos directos sobre la descomposición-renovación del compartimiento orgánico del suelo. Estudios de los efectos del aumento de la temperatura, en diversas aproximaciones, proporcionan, casi todas, una cierta evidencia del efecto de la temperatura sobre flujos y el stock o almacenaje del carbono del suelo.

El aumento de la temperatura: a) Estimula la producción, por respiración, del CO<sub>2</sub> del suelo, vía dominante de la pérdida del carbono de los ecosistemas terrestres en respuesta al calentamiento (RUSTAD *et al.* 2001). La interferencia de otros factores medioambientales y sus efectos sobre el ciclo de carbono demuestra la complejidad de las respuestas en el tiempo del efecto del calentamiento (EMMETT *et al.*, 2004, KIRSCHBAUM 1995, 2006). Los cambios en la composición del compartimiento microbiano, en un determinado plazo, favorecen a los microorganismos menos sensibles que son, posiblemente, más tolerantes a las condiciones extremas y puede dar lugar a una verdadera aclimatación fisiológica. ZHANG *et al.* (2005) concluyen que esta adaptación reducirá el índice de pérdida del carbono del suelo debido a las temperaturas elevadas. b) Causa una pérdida neta del carbono en períodos de sequía extrema, de acuerdo con los resultados del programa "Eddy-covariance estudios", realizado a través de Europa en 2003 (CIAIS *et al.* 2005, REICHSTEIN *et al.* 2006). Estos datos reflejan los preocupantes efectos de los eventos extremos sobre los procesos principales que pueden dar lugar a un cambio significativo en los suelos.

Nutrientes como el nitrógeno y el fósforo son limitantes en el control del balance de carbono del ecosistema. La disponibilidad de nutrientes proporciona uno de los controles más críticos en el equilibrio neto entre la planta y los procesos del suelo. La disponibilidad del nitrógeno atmosférico tiene consecuencias importantes para el equilibrio del carbono del ecosistema. Se estima hasta en un 10% del total del carbón el fijado en árboles y suelos en los ecosistemas forestales europeos (DE VRIES *et al.* 2006). No obstante, la hipótesis de que la disponibilidad creciente de N reducirá la descomposición de la materia orgánica (FOG 1988, CARREIRO *et al.* 2000, NEFF *et al.* 2002, HAGEDORN *et al.* 2003, WALDROP *et al.* 2004, KNORR *et al.* 2005) coexiste con la hipótesis contraria (KIRSCHBAUM 1995).

*Mineralización del carbono en los suelos de la zona piloto ES-SNE de Sierra Nevada*

La cinética de la respiración del CO<sub>2</sub> (fig. 7) muestra un claro efecto del gradiente altitudinal. Los suelos de los picos más altos respiran más. El seguimiento de la descomposición de la materia orgánica de los suelos en condiciones controladas in vitro, a través de la captación del CO<sub>2</sub> emitido, muestra que los cuatro suelos se diferencian, esencialmente, por la calidad de la materia orgánica del suelo.

La riqueza de especies en las cimas está positivamente correlacionada con la altitud. En efecto, el número de especies vegetales es mucho más bajo

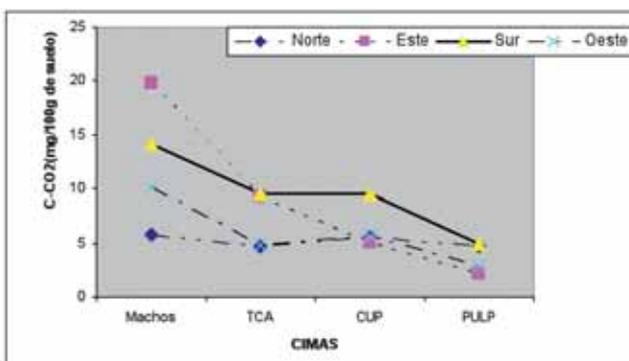


Figura 7. Cinética de la respiración del CO<sub>2</sub> de los suelos en las cuatro cimas ES-SNE.

Figure 7. CO<sub>2</sub> respiration kinetic in soils of the four summits ES-SNE.

en las cimas de mayor altitud. La riqueza específica es la fuente de alimentación principal que asegura la alimentación-renovación del stock orgánico del suelo. La figura 8 muestra la relación de la riqueza en especies con el carbono orgánico de los suelos de la orientación Este de las 4 cimas (R<sup>2</sup>= 0,93).

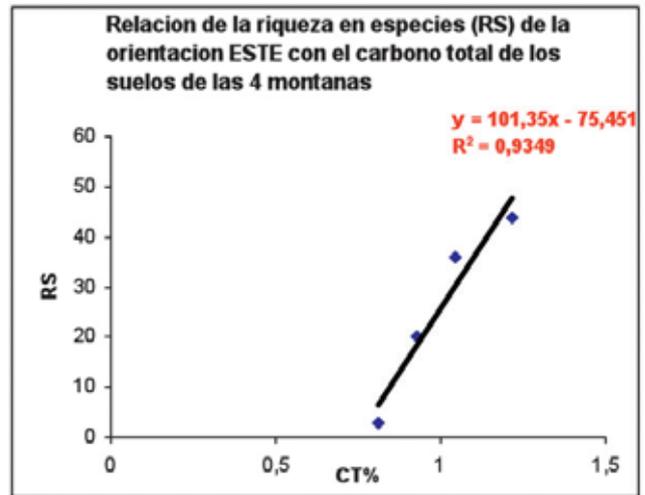


Figura 8. Relación de la riqueza en especies (RS) con el carbono orgánico de los suelos en la orientación Este de las 4 cimas ES-SNE de Sierra Nevada.

Figure 8. Relation between richness species (RS) and soils organic carbon in Eastern-facing of the Sierra Nevada four summits ES-SNE.

La naturaleza de la materia orgánica de los suelos de las 4 cimas, estimada por el carbono total, muestra una relación inversamente proporcional al gradiente altitudinal, presentando coeficientes de correlación altamente significativos, siendo la orientación Este, la más significativa (R<sup>2</sup> = 0,99). Los suelos de las cimas más elevadas tienen un stock de materia orgánica más bajo (fig. 9).

La figura 10 muestra la cinética de la respiración y sus variaciones en relación con las diferentes orientaciones. Destaca el efecto de la orientación, principalmente, en los Machos, la cumbre más alta (3.325 m), donde la cantidad de C-CO<sub>2</sub> emitido durante el período de 10 días de incubación varía entre 5 a 20 mg/100 g de suelo, según la orientación, presentando el suelo de la orientación Norte la respiración más baja y la del Este la más alta. Comparando los suelos de las mismas orientaciones en las 4 cimas, se observa que la respiración de los suelos de la orientación norte

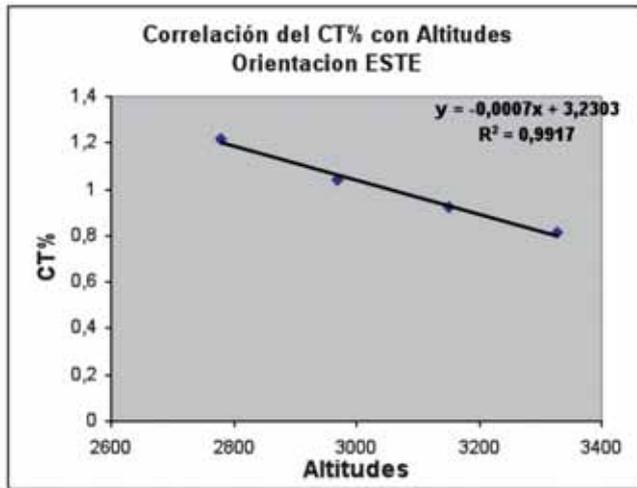


Figura 9. Relación de la riqueza del carbono orgánico (CT%) con las altitudes de los suelos de la orientación Este de las 4 cimas ES-SNE de Sierra Nevada.

Figure 9. Relation between richness organic carbon (CT%) and eastern-facing soils altitudes of the Sierra Nevada four summits ES-SNE.

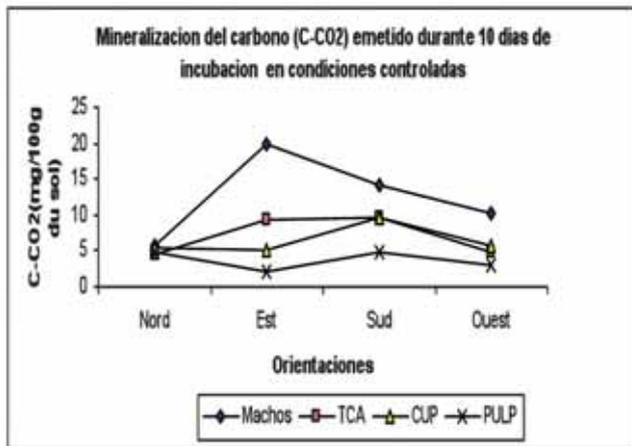


Figura 10. Respiración del CO<sub>2</sub> de los suelos de las 4 cimas ES-SNE de Sierra Nevada y su relación con las 4 orientaciones.

Figure 10. CO<sub>2</sub> soils respiration of the Sierra Nevada four summits ES-SNE and its relation with the four faces.

Muestra	C-CO <sub>2</sub> (mg/100gr)	C-CO <sub>2</sub> /Ct	Ct (%)
MAC	12,48	1,24	1.002
TCA	7,08	0,43	1,65
CUP	6,48	0,50	1.294
PUL	3,71	0,31	1.212

Tabla 2. Tasa de mineralización del carbono de los suelos de las 4 cimas ES-SNE.

Table 2 Rate of carbon mineralization soils of the four summits ES-SNE.

no presenta ninguna diferencia. Al contrario la respiración de los suelos de las orientaciones Este es significativamente diferente.

La tasa de mineralización corresponde a la relación del C-CO<sub>2</sub> respirado con el carbono orgánico total del suelo. Este índice permite apreciar la dinámica de la descomposición de la materia orgánica del suelo durante el período de incubación y bajo condiciones controladas. La tasa de mineralización del carbono de los 4 suelos muestra un valor máximo en la cima de los Machos y nos permite concluir que la materia orgánica de este suelo es fácilmente degradable. Este índice servirá como indicador para el seguimiento de los posibles efectos del calentamiento global en la zona piloto (ES-SNE), instalada desde 2001.

*Mineralización del Nitrógeno de los 4 suelos ES-SNE de Sierra Nevada*

En la figura 11 se representa la evolución de la cinética de mineralización del nitrógeno de los suelos de las cimas ES-SNA (MAC, TCA, CUP y PUL) de Sierra Nevada. Los resultados están referidos a un período de incubación de 62 días. Estos datos son parte de un experimento que pretendemos llevar durante 6 meses, para la estimación de las potencialidades de estos suelos.

La cantidad de nitrógeno mineral producida después del período de incubación varía de 7,7 a 19,6 ppm en MAC, de 7,6 a 18,5 ppm en el TCA, de 14,8 a 28,4 ppm en CUP y de 14,7 a 41,5 ppm en PUL. La disponibilidad potencial en nitrógeno (N62-N0) varía 11,9 ppm en MAC, 10,9 ppm en TCA, 13,6 ppm en CUP y 26,8 ppm en PUL.

En la representación de la cinética de mineralización del nitrógeno, el análisis de las curvas nos muestra la existencia de dos tendencias, lo que viene a discriminar dos grupos de suelos. En el primero quedan incluidas las cimas MAC y TCA, que son las situadas a mayor altitud, en el que, en los 10 primeros días de incubación observamos un estímulo de la mineralización. Por el contrario, el segundo grupo de suelos, de las cimas CUP y PUL, presentan un déficit de mineralización en los 10 primeros días de incubación. Esto se explica por el proceso de "reorganización"; el

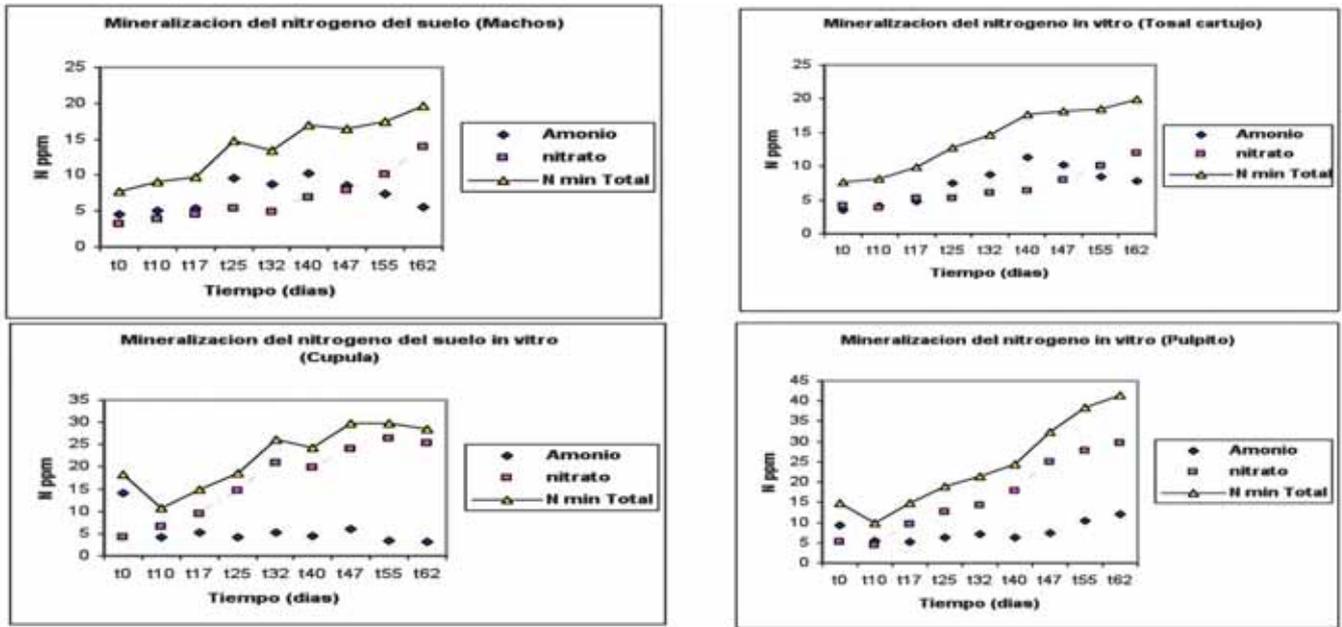


Figura 11. Cinética de la Mineralización potencial del nitrógeno de los suelos de la zona piloto ES-SNE (MAC, TCA, CUP y PUL).  
 Figure 11. Kinetic of the nitrogen potential mineralization in the target zone ES-SNE (MAC, TCA, CUP y PUL) soils.

nitrógeno mineral disponible es consumido por los microorganismos (biomasa bacteriana). Este proceso se produce cuando los microorganismos del suelo se encuentran en presencia de materia orgánica con un c/n elevado.

La mineralización de la materia orgánica de los suelos y la puesta en disponibilidad del nitrógeno mineral (amonio y nitratos) dependen de la naturaleza de la materia orgánica del suelo. En los suelos de las cimas más altas, la materia orgánica se caracteriza con un C/N bajo y, por tanto, es fácilmente degradable una vez el suelo está puesto en condiciones óptimas de incubación in vitro. Al contrario, en el segundo grupo de suelos, relativamente más ricos en materia orgánica y con un C/N alto, la puesta en condiciones de incubación in vitro favorece al principio el proceso de reorganización.

La disponibilidad del nitrógeno potencial muestra una correlación significativa en relación con la altitud (fig. 12), lo que coincide con la correlación del carbono total de los suelos con la altitud.

La tasa de mineralización del nitrógeno (fig. 13), índice calculado usando el nitrógeno mineral

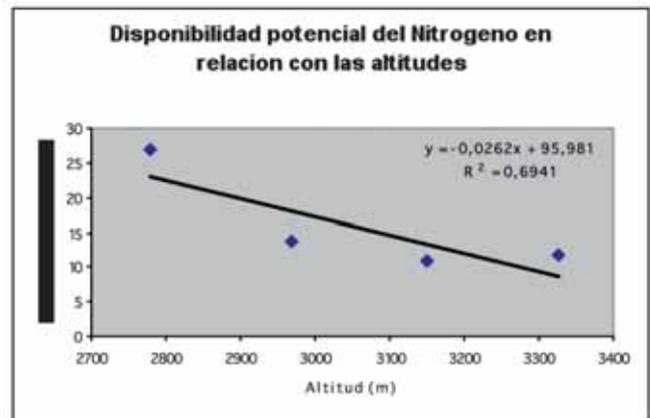


Figura 12. Correlación del nitrógeno potencial disponible con la altitud.  
 Figure 12. Relation between the potential available nitrogen and altitude.

producido durante los 62 días de incubación en relación con el nitrógeno orgánico total del suelo, permite diferenciar los suelos. Los suelos de la cima PUL presentan la tasa de mineralización más elevada, lo que confirma el papel importante de la reserva de materia orgánica del suelo y, sobre todo, el mecanismo descomposición-renovación de esta reserva.

El análisis detallado de la cinética de mineralización del nitrógeno potencial producido por los

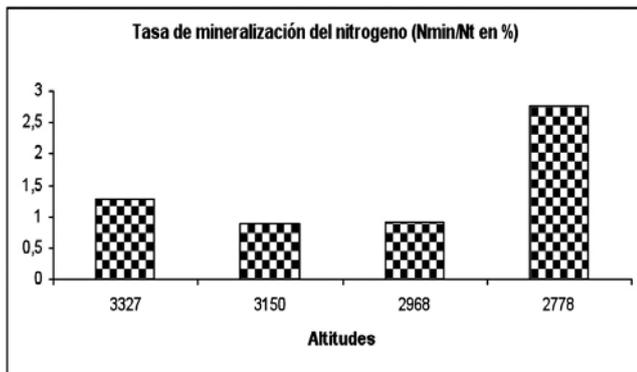


Figura 13. Tasa de mineralización del nitrógeno de los suelos de la zona piloto ES-SNE

Figure 13. Target zone ES-SNE: nitrogen mineralization rate.

suelos de las 4 cimas de Sierra Nevada durante los 8 períodos sucesivos de incubación en condiciones controladas (fig. 14) de los 4 suelos es muy significativo. Las curvas de la cinética de la tasa de amonificación y nitrificación permiten diferenciar dos grupos de suelos, los de las cimas más altas (MAC, TCA) de las cimas de altitudes más bajas (CUP, PUL).

Las curvas de tendencias de estos dos índices (tasa de amonificación y tasa de nitrificación), además de confirmar la naturaleza de la materia orgánica (MOS) de los suelos (fácilmente degradable o difícilmente degradable), permite apreciar el aspecto cuantitativo de esta MOS. En el plan cualitativo se puede apreciar la naturaleza de la preponderancia de la forma del nitrógeno mineral disponible para la vegetación, amonio o nitrato.

### Biomasa microbiana de los suelos de Sierra Nevada

Al nivel del suelo, la biomasa microbiana representa el compartimiento de tránsito obligatorio de los diferentes nutrientes esenciales para la nutrición vegetal. De una parte es el responsable de los procesos de descomposición y de mineralización de la materia orgánica del suelo, permitiendo así la disponibilidad de los elementos minerales en la solución del suelo ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , P, y S). Por otro lado, este compartimiento representa un stock de los nutrientes durante la fase

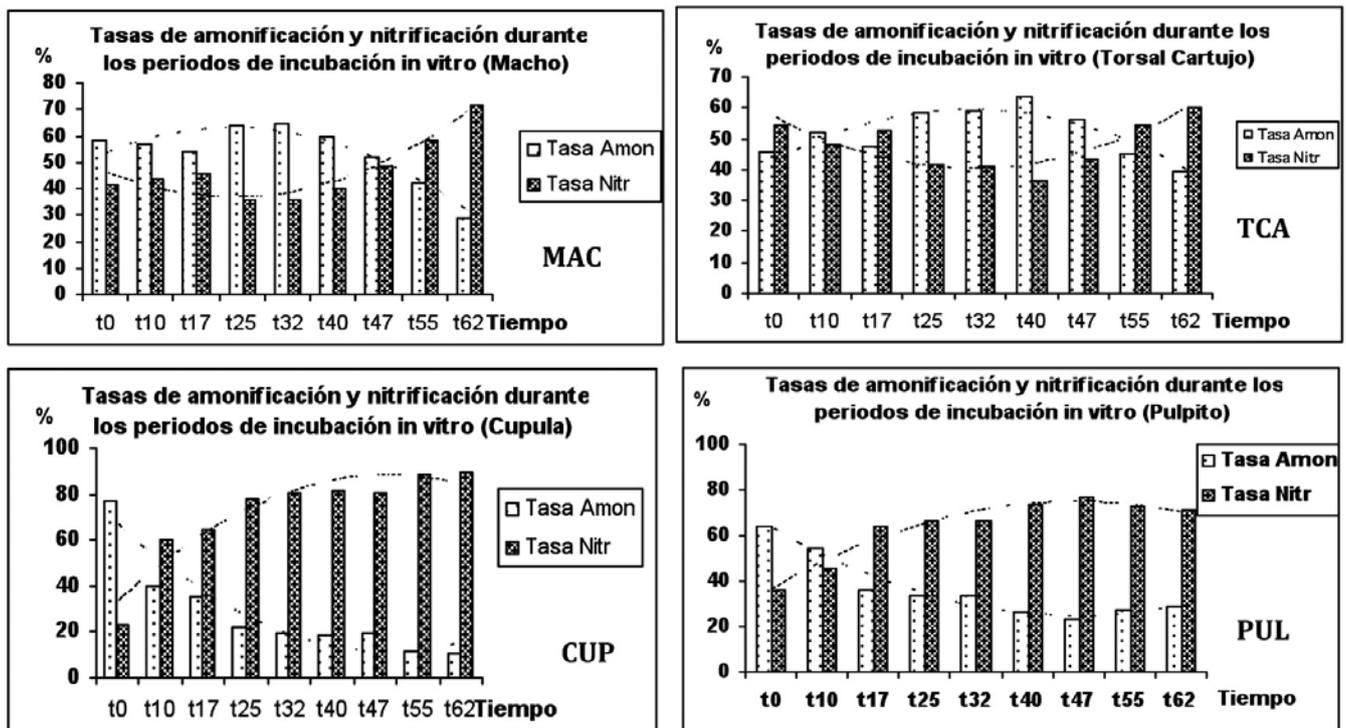


Figura 14. Tasas de amonificación y de nitrificación del nitrógeno mineral potencial producido durante los 8 periodos de tiempo (t0 a t62) de incubación in vitro de los 4 suelos de la zona piloto ES-SNE.

Figure 14. Ammonization and nitrification rates of potential mineral nitrogen produced during 8 periods of in vitro incubation time (t0 a t62) from de target zone ES-SNE soils.

de reorganización; esta parte estará disponible en períodos precisos de la dinámica del ecosistema (alternancia de períodos de desecación - humidificación de los suelos, deforestación etc.)

La problemática de los efectos del posible aumento de la temperatura en un futuro próximo, hace del estudio de la biomasa microbiana del suelo y su dinámica, una necesidad para apreciar las repercusiones sobre la cinética de la reserva orgánica del suelo

La biomasa microbiana de los suelos de las 4 cimas es estimada a través de la técnica biocida de JENKINSON & POWLSON (1976). Se han estudiado los suelos de las cuatro orientaciones de cada cima. Han sido 16 muestras de suelos distribuidos, en relación con el gradiente altitudinal, entre 2.778 m y 3.327 m.

Las variaciones de la biomasa microbiana en relación con las altitudes siguen la cinética de la respiración potencial de los suelos (fig. 15). Esto confirma la naturaleza de la materia orgánica de los suelos de las cimas más elevadas. Esta materia orgánica es fácilmente degradable. En efecto, la pobreza en especies vegetales en estos hábitats y la alimentación lenta de los suelos en materia orgánica fresca, de manera continua, hacen que los suelos muestran una actividad biológica muy importante bajo condiciones favorables y óptimas durante una incubación *in vitro*.

Los resultados quedan recogidos en la figura 16, donde se muestran las variaciones en relación a la altitud y a las orientaciones (norte, este, sur y

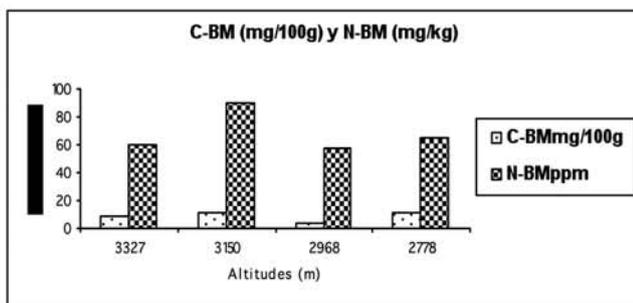


Figura 15. Biomasa microbiana (C-BM) y Nitrógeno de la biomasa microbiana (N-BM) de los suelos de las 4 cimas de la zona piloto ES-SNE.

Figure 15. Four summits soils of the target zone (ES-SNE): Microbial biomass (C-BM) and microbial biomass nitrogen (N-BM).

oeste). La variación de la BM en relación con las orientaciones sigue la misma cinética en los suelos de las cimas más elevadas (MAC y TCA). Los suelos de CUP presentan valores bajos y los de PUL se caracterizan por la discriminación del efecto de la orientación este, donde se presenta la biomasa microbiana más importante.

### Flora, vegetación y cartografía

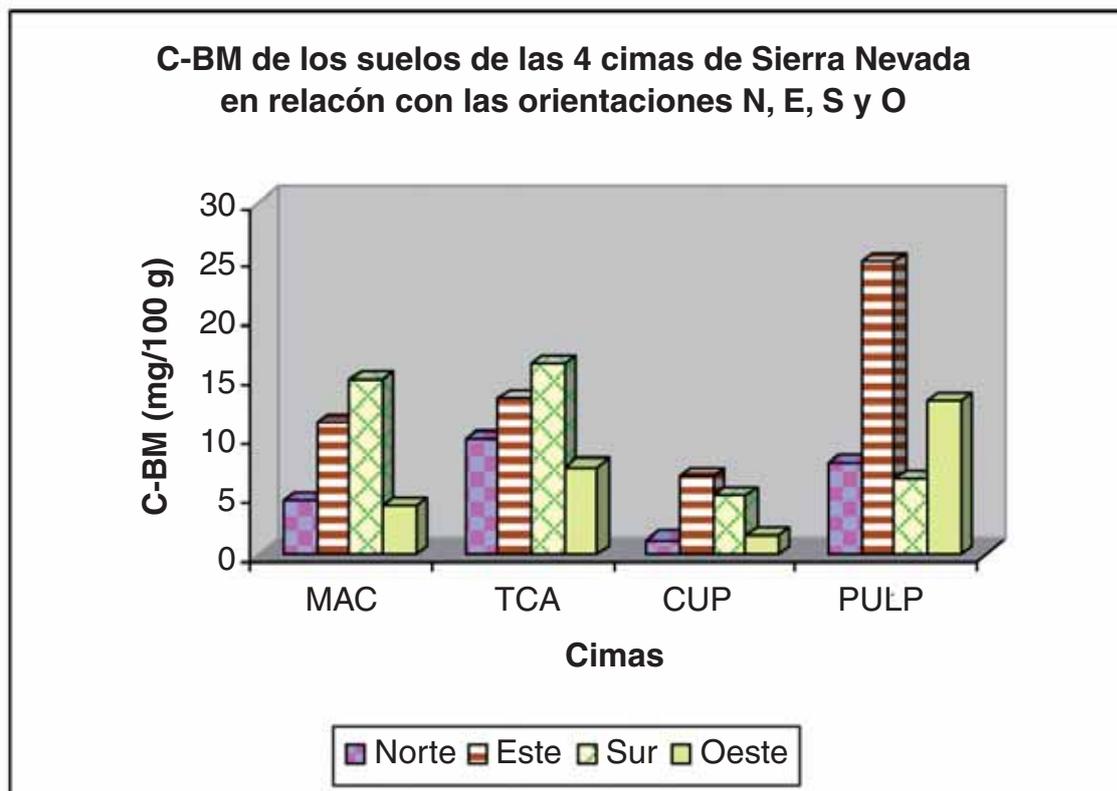
Las aproximaciones previas a nuestra investigación florística señalaban la presencia en el piso crioromediterráneo de 130 taxones (BOISSIER 1839-1845), aumentando, más recientemente, hasta los 178 (MOLERO MESA & PÉREZ RAYA 1987; MOLERO MESA, PÉREZ RAYA & GONZÁLEZ-TEJERO 1996). La investigación llevada a cabo durante este proyecto ha permitido esclarecer el comportamiento de muchos de los taxones citados en aquellos catálogos y hacer una aproximación que estimamos más completa, aunque, lógicamente, no definitiva (FERNÁNDEZ CALZADO 2007).

En nuestra consideración, de acuerdo con la delimitación realizada del piso crioromediterráneo, la flora vascular de este piso la componen 185 taxones, a nivel específico y subespecífico, que se agrupan en 44 familias y 116 géneros, predominando *Poaceae* (24 taxones), *Asteraceae* (20), *Caryophyllaceae* (16), *Brassicaceae* (12), *Scrophulariaceae* (10) y *Cyperaceae* (7).

La distribución porcentual de biotipos es de 63,16% de hemicriptófitos, 26,31% de caméfitos, 6,32% de terófitos, 3,16% de geófitos y 1,05% de fanerófitos (postrados).

De los taxones censados, 18 (9,73%) no sobrepasan, en el ámbito de Sierra Nevada al menos, el área del piso crioromediterráneo, mientras que 115 (62,16%) viven tanto en este piso como en el inmediato inferior, el oromediterráneo. Los 52 (28,11%) restantes están presentes también en otros pisos inferiores.

La tipificación biogeográfica de los taxones se resume con los siguientes datos: 55 (29,73%) son endémicos exclusivos del núcleo central de Sierra Nevada (sector Nevadense); 14 (7,57%) son endemismos del sistema Bético (provincia Bé-



**Figura 16.** Variación de la biomasa microbiana (C-BM) de los suelos en relación con las 4 orientaciones de las 4 cimas de la zona piloto ES-SNE.

**Figure 16.** Variation of the soils microbial biomass (C-BM) in relation with the 4 faces of the target zone ES-SNE four summits.

tica), teniendo el resto (116, 62,7%) un área de distribución mayor.

La cartografía digital que se ha realizado representa una extensión total de 8.788.6 hectáreas, incluyendo el piso de vegetación crioromediterráneo y parte del oromediterráneo. La cobertura digital quedó asociada con una base de datos en donde se diferencian un total de 679 unidades cartográficas o polígonos. A su vez, cada uno de estos polígonos posee 20 campos de información, por lo que, finalmente el total de referencias son 13.580.

Para la realización de esta cartografía y la delimitación de la zona superior del macizo, ha sido clave el estudio de la distribución de las asociaciones de plantas existentes en el territorio, sobre todo de aquellas que solo dependen de las precipitaciones atmosféricas y que podemos denominar climatófilas.

Para el piso de vegetación crioromediterráneo las asociaciones más destacadas, por su frecuencia y significación han sido: *Erigeronto frigidifolii-Festucetum clementei*, *Saxifragetum nevadensis* y *Viola crassiusculae-Linarietum glacialis*. En el piso oromediterráneo, *Senecioni granatensis-Digitalium nevadensis*, *Arenario frigidifolii-Festucetum indigestae*, *Siderito glacialis-Arenarietum pungentis*, *Centrantho nevadensis-Sedetum brevifolii* y *Genisto versicoloris-Juniperetum hemisphaericae*.

Otras asociaciones son menos específicas y abarcan territorios oro y crioromediterráneos: *Campanulo willkomii-Polystichetum lonchitidis*, *Festucetum moleroio-pseudoeskae* y *Cirsio gregarii-Dactyletum juncinellae*.

Todas estas asociaciones, oro y crioromediterráneas, así como el resto de las higro-hidrófilas, se presentan de forma exclusiva en el sector nevadense. En el territorio cartografiado se ha trabajado con 19 asociaciones, siendo de 14 en el piso crioromediterráneo.

La delimitación del área que, en nuestra opinión, comprende el piso de vegetación crioromediterráneo ocupa una superficie continua de 3875.7 Ha, oscilando sus límites altitudinales, en función de la orientación, entre 2.750 y 3.290 m (fig. 17).

La base de datos cartográfica permite componer mapas con temática diversa. En la tesis desarrollada para la realización de este objetivo (FERNÁNDEZ CALZADO 2007), se presenta la cartografía mediante cuatro mapas en formato A2 (1:50.000), donde se incluyen todas las asociaciones fitosociológicas en los polígonos del área cartografiada, hasta un máximo de cuatro, y once mapas en que se recoge la presencia de una o varias asociaciones en cada uno de los polígonos en

que están presentes. Ello nos permite contrastar los resultados con motivos, entre otros, de gestión y así se puede elaborar un mapa, por ejemplo, con las asociaciones *Arenario frigidae-Festucetum indigestae*, que se encuentra presente en polígonos que ocupan 4.280,19 Ha y *Genisto versicoloris-Juniperetum hemisphaericae*, presente en polígonos que cubren 1.331,74 Ha. Si tenemos en cuenta que la segunda asociación representa la comunidad climática y la primera una etapa serial, observamos la clara predominancia del pastizal de *Festuca indigesta* en el piso oromediterráneo, en detrimento de la clímax. Ello nos puede dar una idea del deterioro del paisaje vegetal y tomar las medidas posibles para su regeneración.

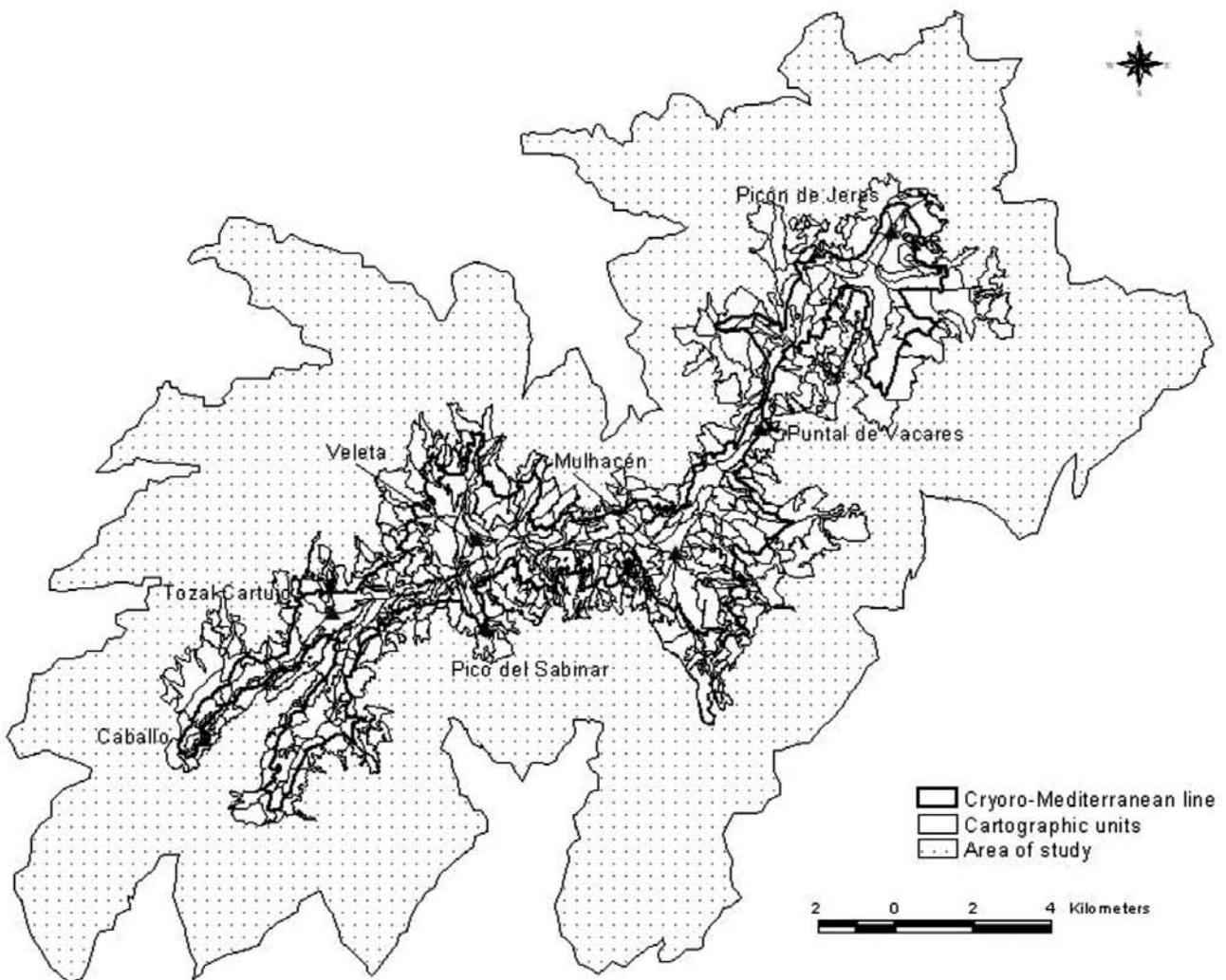


Figura 17. Límites del piso crioromediterráneo.  
Figure 17. Crioromediterranean belt borders.

## CONCLUSIONES

Tras el trabajo desarrollado durante los años 2.005 a 2.008 se ha conseguido tener instalados dos escenarios completos de observación (*Target Regions* o zonas piloto), de acuerdo con el protocolo GLO-RIA, incluidas observaciones y controles líquénicos. Se dispone de dos series de registros termométricos (de siete y tres años, uno por zona piloto), a intervalos de una hora. Se ha efectuado buena parte del estudio de la actividad biológica potencial de los suelos de las zonas piloto, a través del control del carbono, del nitrógeno y de la biomasa microbiana. Se han estudiado, analizado y delimitado los taxones y sintaxones vegetales presentes en el piso de vegetación crioromediterráneo, con el fin de establecer el límite inferior de este piso y conseguir así tener un nuevo escenario de observación. El resultado de esta última aproximación concluye que el territorio ocupado por este piso es bastante menor del esperado, lo que pone de manifiesto que la fragilidad de la zona culminar de Sierra Nevada es muy alta. Los estudios históricos comparados sobre la flora de este piso también ponen de manifiesto su progresivo aumento en los últimos 150 años, posiblemente en concordancia con el aumento de las temperaturas.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado, en gran medida, por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales (proyecto 2/2003). Agradecemos al Parque Nacional de Sierra Nevada las facilidades prestadas para el desarrollo del trabajo de campo. No podemos dejar de mencionar nuestro agradecimiento a alumnos, compañeros y amigos, quienes se dejaron “engañar” y colaboraron con gran entusiasmo en la instalación de los escenarios de observación. Entre los mayores, José Miguel Marfil, Juan Jiménez, Mario Ruíz, y, entre los jóvenes, Isabel de Haro, Diego Nieto, Cristina Sánchez, Antonio Delgado, Fabián Mesa, Guillermo Benítez, Samir Benghazi, Alberto Molero, José Miguel Romero, Álvaro López, Daniel Álvarez, José Manuel Ramiro, Eugenia Ramos, Mohamed El Mesbahi, Martin March, John Huston, José Manuel Sánchez, Santiago Schiaffino, Julia Molero y María Luisa Montero

### Anexo 1. Listado de taxones en las Target Region ES-SNE y ES-SNN

- Acinos alpinus* L. subsp. *meridionalis* (Nyman) P. W. Ball  
*Aethionema marginatum* (Lapeyr.) Montemurro  
*Agrostis nevadensis* Boiss.  
*Alyssum nevadense* Wilmott ex P.W. Ball & T. R. Dudley  
*Androsace vitaliana* (L.) Lapeyr subsp. *nevadensis* (Chiarugi) Luceño  
*Andryala agardhii* Haens. ex DC.  
*Anthyllis vulneraria* L. subsp. *pseudoarundana* H. Lindb.  
*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.  
*Arenaria armerina* Bory  
*Arenaria grandiflora* L.  
*Arenaria pungens* Clemente ex Lag.  
*Arenaria tetraquetra* L. subsp. *amabilis* (Bory) H. Lindb.  
*Artemisia granatensis* Boiss.  
*Asperula aristata* L. fil subsp. *scabra* (J. Presl. & C. Presl. ex Lange) Nyman  
*Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm.  
*Astragalus nevadensis* Boiss. subsp. *nevadensis*  
*Avenella ibérica* (Rivas Martínez) Rivas Martínez, Fern.-Gonz. & Loidi  
*Biscutella glacialis* (Boiss. & Reut.) Jord.  
*Bromus tectorum* L.  
*Campanula rotundifolia* L. subsp. *hispanica* (Willk.) O. Bolós & Vigo  
*Carduus carlinoides* Gouan subsp. *hispanicus* (Kazmi) Franco  
*Cerastium gibraltaricum* Boiss.  
*Cerastium ramosissimum* Boiss.  
*Chaenorhinum glareosum* (Boiss.) Willk.  
*Cirsium gregarium* Boiss. ex Willk.  
*Coincya monensis* (L.) Greuter & Burdet subsp. *nevadenses* (Willk.) Leadlay  
*Crepis oporinoides* Boiss.  
*Cuscuta planiflora* Ten.  
*Cystopteris fragilis* (L.) Bernh. subsp. *fragilis*  
*Dactylis juncinella* Bory

- Dianthus pungens* L. subsp. *brachyanthus* (Boiss.)  
Bernal, Fern. Casas, G. López, M. Laínz &  
Muñoz Garm.
- Digitalis purpurea* (L.) subsp. *purpurea*
- Draba hispanica* Boiss. subsp. *laderoi* Rivas Martí-  
nez, M. E. García & Penas
- Erigeron frigidus* Boiss. ex DC.
- Erigeron major* (Boiss.) Viehr
- Erodium cheilanthifolium* Boiss.
- Erophila verna* (L.) Chevall.
- Eryngium glaciale* Boiss.
- Erysimum nevadense* Reut.
- Euphorbia nevadensis* Boiss. & Reut.
- Euphrasia willkommii* Freyn
- Festuca clementei* Boiss.
- Festuca indigesta* Boiss. subsp. *indigesta*
- Festuca pseudeskia* Boiss.
- Galium nevadense* Boiss. & Reut.
- Galium pyrenaicum* Gouan
- Galium rosellum* (Boiss.) Boiss. & Reut.
- Helictotrichon filifolium* (Lag.) Henrad subsp. *ve-  
lutinum* (Boiss.) Romero Zarco
- Herniaria boissieri* J. Gay
- Hieracium castellanum* Boiss. & Reut.
- Holcus caespitosus* Boiss.
- Hormathophylla spinosa* (L.) P. Küpfer
- Iberis carnosa* Willd. subsp. *embergeri* (Serve)  
Moreno
- Jasione crispa* (Pourr.) Samp. subsp. *tristis* (Bory) G.  
López
- Juniperus communis* L. subsp. *hemisphaerica* (C.  
Presl) Nyman
- Juniperus sabina* L.
- Jurinea humilis* (Desf.) DC.
- Koeleria crassipes* Lange subsp. *nevadensis* (Hackel)  
Romero Zarco
- Lactuca perennis* L. subsp. *granatensis* Charpèn &  
Fern. Casas
- Leontodon boryi* Boiss.
- Lepidium stylatum* Lag. & Rodr.
- Leucanthemopsis pectinata* (L.) G. López & Ch. E.  
Jarvis
- Linaria aeruginea* (Gouan) Cav. subsp. *nevadensis*  
(Boiss.) D. A. Sutton
- Logfia arvensis* (L.) J. Holub
- Lotus corniculatus* L. subsp. *glacialis* (Boiss.) Valdés
- Luzula hispanica* Chrtek & Krisa
- Myosotis minutiflora* Boiss. & Reut.
- Nepeta nepetella* L. subsp. *laciniata* (Willk.) Aedo
- Nevadensia purpurea* (Lag. & Rodr.) Rivas Martínez
- Paronychia polygonifolia* (Vill.) DC.
- Pimpinella procumbens* (Boiss.) Pau
- Plantago nivalis* Boiss.
- Plantago holosteum* Scop.
- Poa ligulata* Boiss.
- Poa minor* Gaudin subsp. *nevadensis* Nannfeldt
- Poa nemoralis* L. subsp. *glauca* (Gaudin) Rouy
- Polygonum aviculare* L. var. *nanum* (Bory) Boiss.
- Potentilla reuteri* Boiss.
- Ranunculus demissus* DC.
- Rumex acetosella* L. subsp. *angiocarpus* (Murb.)  
Murb.
- Saxifraga granulata* L.
- Saxifraga nevadensis* Boiss.
- Scutellaria alpina* L.
- Sedum amplexicaule* DC.
- Sedum dasyphyllum* L.
- Semperivivum minutum* (Kunze ex Willk.) Nyman
- Senecio boissieri* DC.
- Senecio nebrodensis* L.
- Senecio pyrenaicus* Loefl. subsp. *granatensis* (Boiss.  
ex DC.) Rivas Martínez
- Sideritis glacialis* Boiss.
- Silene boryi* Boiss.
- Solidago virgaurea* L.
- Teucrium aureum* Schreb subsp. *angustifolium*  
(Willk.) S. Puech
- Thymus serpylloides* Bory subsp. *serpylloides*
- Trisetum glaciale* (Bory) Boiss.
- Urtica dioica* L.
- Veronica verna* L.
- Viola crassiuscula* Bory
- Viola parvula* Tineo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M.B., PEARSON, R.G., THUILLER, W. & ERHARD, M. (2005a) Validation of species–climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11, 1504-1513.
- ARAÚJO M.B., WHITTAKER R.J., LADLE R.J. & ERHARD M. (2005b) Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 14: 529-538
- BOISSIER, E. (1839-1845). Voyage Botanique dans le midi de l'Espagne pendant l'année 1837. Vol I & II. París.
- BROENNIMANN, O., THUILLER, W., HUGHES, G., MIDGLEY, G.F., ALKEMALDE, J.M.R. & GUIBAN, A. (2006) Do geographic distribution, niche property and life form explain plants' vulnerability to global change? *Global Change Biology*, 12: 1079-1093.
- CASTROVIEJO, S. & cols. (eds.) 1986 - (2009). *Flora Iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Real Jardín Botánico de Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. Vols. I-VIII, X, XIII-XV, XVIII y XXI.
- CIAIS, P., REICHSTEIN, M., VIOVY, N., GRANIER, A. OGEE, J. & cols. (2005) Europe-wide reduction in primary productivity caused by heat and drought in 2002, *Nature* 437, 529-533.
- CARREIRO, M.M., SINSABAUGH, R.L., REPERT, D.A. & PARKHURST, D.F. (2000) Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition. *Ecology*, 81, 2359-2365.
- CASARES-PORCEL, M. (1988) Flora y vegetación líquénicas de Sierra Nevada. *Monog. Fl. Veg. Béticas* 3:53-62
- CHARLOT G. (1960) Les méthodes de la chimie analytique. Ed. Masson. París. 1024 p.
- CHAUSSOD, R. & NICOLARDOT, R. (1982) Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. Approche cinétique et estimation simplifiée du carbone facilement minéralisable. *Rev. Ecol. Biol. Sol* 19: 501-512.
- CLAUZADE, G. & ROUX, C. (1975) Étude écologique et phytosociologique de la végétation lichénique des roches calcaires non altérées dans les régions méditerranéenne et subméditerranéenne du sud-est de la France. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille* 35:153-208
- DE VRIES, W., REINDS, G.J., GUNDERSEN, P. & STERBA, H. (2006). The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration in European forests and forest soils. *Global Change Biology* 12:1151-1173.
- DULLINGER, S.I. KLEINBAUER, PAULI, H., GOTTFRIED, M. BOOKER, R., NAGY, L., THEURILLAT, J.P., JHOLTEN, I., ABDALADZE, O., BENITO, J. L., BOREL, J.L., GOLDEA, G., GHOS, D., KANKA, R., MERZOUKI, A., KLETTNER, C., MOISEEV, P., MOLAU, U., REITER, K., ROSSI, G., STANCISI, A., TOMASELLI, M., UNTERLUGAUER, P., VITTOZ, P. & GRABHERR, G. (2007) Weak and variable relationships between environmental severity and small-scale co-occurrence in alpine plant communities. *Journal of Ecology*, 95, 6: 1284-1295.
- EEA. (2003). Europe's Environment. The Third Assessment. European Environment Agency, Copenhagen.
- EMMETT, B.A., BEIER, B., ESTIARTE, M., TIETEMA, A., KRISTENSEN, H.L., WILLIAMS, D., PEÑUELAS, J., SCHMIDT, I., & SOWERBY, A. (2004). The response of soil processes to climate change: results from manipulation studies of shrublands across an environmental gradient. *Ecosystems*, 7, 625-637.
- FERNÁNDEZ CALZADO, MR. (2007). *Delimitación del piso crioromediterráneo de Sierra Nevada*. Tesis Doctoral. 284 p. Universidad de Granada
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., LOIDI, J. & MORENO SAINZ, J.C. (2005): Impactos sobre la biodiversidad vegetal. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático, pp 821. MMA. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones.
- FOG, K. (1988) The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter, *Biology Review*, 63, 433-462.
- GÉHU, J. M. & RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1981). Notions fondamentales de phytosociologie. In: Dierschke, H. (ed.) *Syntaxonomie*. Ber. Intern. Symposium IV-V: 5-53. Ed. Cramer, Vaduz.

- GÓMEZ ORTIZ, A. & cols (2004). Deglaciación reciente de Sierra Nevada. Repercusiones morfogénicas, nuevos datos y perspectivas de estudio futuro. *Cuadernos de investigación Geográfica* 30: 147-168.
- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & PAULI, H. (1994) Climate effects on mountain plants. *Nature* 369:448
- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & PAULI, H. (2000): GLORIA: A Global Observation Research Initiative in Alpine Environments. *Mountain Research and Development* 20 (2): 190-191.
- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & PAULI, H. (2001) Long-term monitoring of mountain peaks in the Alps. In: Burga, C.A. & Kratochwil A. (eds.). *Biomonitoring: General and applied aspects on regional and global scales. Tasks for Vegetation Science* 35, Kluwer: 153-177
- HANSEN, A. & cols. (2001) Global Change in Forests: Responses of Species, Communities, and Biomes. *BioScience*. September Vol. 51 No. 9
- HAGEDORN, F., SPINNLER, D. & SIEGWOLF, R., (2003) Increased N deposition retards mineralization of old soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry* 35, 1683-1692.
- HOUGHTON, J.T., DING, Y., GRIGGS, D.J., NOUGER, M., VAN DER LINDEN, P.J., DAI, X., MASKELL, K. & JONSON, C.A. (eds.) (2001) *Climate change 2001: the scientific basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working group I. Cambridge University Press.
- JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. (1976) The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8: 209-214.
- KIRSCHBAUM, M.U.F. (1995) The temperature dependence of soil organic matter decomposition and the effect of global warming on soil organic C storage, *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 753-760.
- KIRSCHBAUM, M.U.F. (2006) The temperature dependence of organic-matter decomposition—still a topic of debate. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2510–2518.
- KNORR, M., FREY, S.D. & CURTIS, P.S. (2005) Nitrogen additions and litter decomposition: a meta-analysis, *Ecology* 86, 3252 – 3257.
- KÖRNER, C. (1994) Impact of atmospheric changes on high mountain vegetation. In: BENISTON, M. (ed.). *Mountain environments in changing climates*. Routledge, London: 155-166
- KÖRNER, C. (2002). Mountain biodiversity, its causes and function: an overview. In: KÖRNER C. & SPEHN E (eds.) *Mountain Biodiversity - A Global Assessment*. Parthenon. London, New York: 3-20.
- LOSA QUINTANA, J. M., MOLERO MESA, J., CASARES PORCEL, M. & PÉREZ RAYA, F. (1986) El paisaje vegetal de Sierra Nevada. La cuenca alta del río Genil. *Serv. Publ. Univ. Granada*. 288 p.
- LUO, Y. & ZHOU, Z. (2006) *Soil Respiration and the Environment*. San Diego: Academic/Elsevier 328 pp.
- MARTINEZ PARRAS, J.M., PEINADO LORCA, M. & ALCARAZ ARIZA, F. (1987). Comunidades vegetales de Sierra Nevada (España). Ed. Universidad de Alcalá de Henares. 51 p.
- MERZOUKI, A., LOSSAINT, P., BILLÈS, G. & RAPP, M. (1990a) L'impact du déboisement South l'azote minéral susceptible d'être absorbé even taillis of chêne vert (*Quercus ilex* L.) in reconstitution. *Ann. Sci. Forest*, 21, 633-641.
- MERZOUKI, A. & LOSSAINT, P. (1990b) L'impact du déboisement South him compartiment matière organique d'un sun rouge méditerranéen. *Bul. Ecol.*, 21: 2, 83-88.
- MERZOUKI, A., LOSSAINT, P. & RAPP, M. (1989a) L'effet d'une coupe à blanc South him compartiment biomasse microbienne d'un sun rouge méditerranéen. *Pedobiologia* 33, 221-228.
- MERZOUKI, A., LOSSAINT, P., RAPP, M. & BILLÈS, G. (1989b) L'effet d'une coupe à blanc minéralisation of l'azote d'un sun rouge méditerranéen. *Rev. Ecol. Biol. Sun*, 26: 2, 133-154
- MOLERO MESA, J. (1999) The vegetation of Sierra Nevada. *Itinera Geobotánica* 13:105-118
- MOLERO MESA, J. & PÉREZ RAYA, F. (1987). *La Flora de Sierra Nevada. Avance sobre el catálogo florístico nevadense*. Ed. Universidad de Granada. 395 p.
- MOLERO MESA, J., PÉREZ RAYA, F. & GONZÁLEZ- TEJERO, M.R. (1996). Catálogo y análisis florístico de la flora orófila de Sierra Nevada. In: Chacón & Rosúa (eds.): *1ª Conferencia Internacional de Sierra Nevada*. 271-276.
- NEFF, J.C., TOWNSEND, A.R., GLEIXNER, G., LEHMAN, S.J., TURNBULL, J. & BOWMAN, W.D. (2002) Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon, *Nature*, 419, 915-917.

- OZENDA, P. & BOREL, J. L. (1991). Les conséquences écologiques possibles des changements climatiques dans l'Arc alpin. Rapport Futuralp n° 1. ICALPE. Grenoble.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., DIRNBÖCK, T., DULLINGER, S. & GRABHERR, G. (2003a) Assessing the long-term dynamics of endemic plants at summit habitats. In: Nagy, L., GRABHER, G., KÖRNER, C. & THOMPSON, D.B.A. (eds.) *Alpine biodiversity in Europe - A Europe-wide Assessment of Biological Richness and Change. Ecological Studies*. Springer: 195-207
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., HOHENWALLNER, D., REITER, K. & GRABHERR, G. (Eds.). - (2003b). - Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Iniciativa para la Investigación y el Seguimiento Global de los Ambientes Alpinos, como contribución al Sistema Terrestre de Observación Global (GTOS). Versión española de Luís Villar. 67p
- PEARSON, R.G. & DAWSON, T.P. (2003) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361-371.
- PRICE, M.F. & BARRY, R.G. (1997) Climate Change. In: Messerli, B. & Ives, J.D. (eds.). *Mountains of the World*. The Parthenon Publishing Group, New York: 409-445.
- PRIETO, P. (1971) Vegetación de Sierra Nevada. La cuenca del Monachil. *Col. Monogr. Univ. Granada*. 218 p.
- QUÉZEL, P. (1953). Contribution à l'étude phytosociologique et géobotanique de la Sierra Nevada. *Mem. Soc. Brot*.9 :5-77.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1987) *Mapa de series de vegetación de España*. ICONA, Serie Técnica. 268 p.+30 mapas. Madrid.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. & cols. (2007). Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España (Memoria del mapa de vegetación potencial de España). Parte I. *Itinera Geobotánica*, 17: 5-436.
- RUSTAD, L.E., CAMPBELL, J.L., MARION, G.M., NORBY, R.J., MITCHELL, M.J., HARTLEY, A.E., CORNELISSEN, J.H.C. & GUREVITCH, J. (2001) A meta-analysis of the response of soil respiration, net N mineralization and above-ground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia*, 126, 543-562.
- ZHANG, W., PARKER, K., LUO, Y., WAN, S. & WALLACE, L.L. (2005) Soil microbial responses to experimental warming and clipping in a tall grass prairie, *Global Change Biology*, 11, 266-277.
- REICHSTEIN, M., CIAIS, P., PAPAIE, D., VALENTINI, R., RUNNING, S., VIOVY, N., CRAMER, W., GRANIER, A., OGEE, J., ALLARD, V., AUBINET, M., BERNHOFER, C., BUCHMANN, N., CARRARA, A., GRÜNWALD, T., HEIMANN, M., HEINESCH, B., KNOHL, A., KUTSCH, W., LOUSTA, D., MANCA, G., MATTEUCCI, G., MIGLIETTA, F., OURCIVAL, J., PILEGAARD, K., PUMPANEN, J., RAMBAL, S., SCHAPHFF, S., SEUFERT, G., SOUSSANA, F., SANZ, M. & M ZHAO, T. V. (2006). Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and modelling analysis. *Global Change Biology* 12: 1-18.
- THEURILLAT, J.P. (1995) Climate change and the alpine flora some perspectives. In: Guisan, A., HOLTEN, JI., SPICHIGER, R & TESSIER, L. (eds.). *Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian mountains*. Genève. Conserv. Jard. Bot.: 121-127.
- THUILLER W., BROENNIMANN O., HUGHES G., ALKEMALDE J.M.R., MIDGLEY G.F. & CORSI F. (2006) Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions. *Global Change Biology*, 12, 424-440.
- WALDROP, M.P., ZAK, D.R., SINSABUGH, R.L., GALLO, M. & LAUBER, C. (2004) Nitrogen deposition modifies soil carbon storage through changes in microbial enzymatic activity, *Ecological Applications* 14, 1172-1177.