



SIERRA  
NEVADA  
PARQUE NACIONAL  
PARQUE NATURAL



## Global Change Impacts in Sierra Nevada: Challenges for conservation



JUNTA DE ANDALUCÍA

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



ugr | Universidad de Granada

Collaborate:



Unión Europea

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



IISTA



Laboratorio de Ecología del CEAMA, Universidad de Granada



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

ORGANISMO AUTÓNOMO PARQUES NACIONALES



Fundación Biodiversidad



eug EDITORIAL UNIVERSIDAD DE GRANADA

# GLOBAL CHANGE IMPACTS IN SIERRA NEVADA: CHALLENGES FOR CONSERVATION

**Editors:** Regino Jesús Zamora Rodríguez, Antonio Jesús Pérez Luque, Francisco Javier Bonet García, José Miguel Barea Azcón, Rut Aspizua Cantón.

**Technical coordinators:** Fco. Javier Sánchez Gutiérrez, Ignacio Henares Civantos, Blanca Ramos Losada and Fco. Javier Cano-Manuel León.

**Publisher:** Department of the Environment and Urban Planning. Junta de Andalucía.

**Scientific coordinator:** Regino Jesús Zamora Rodríguez.

## How to cite:

Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M. and Aspizua, R. (editors). 2016. Global Change Impacts in Sierra Nevada: Challenges for conservation. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. 208 pp.

## Sections should be cited as follows:

Galiana-García, M., Rubio, S. and Galindo, F.J. 2016. Monitoring populations of common trout. Pp.: 77-80. In: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M. and Aspizua, R. (editors). 2016. *Global Change Impacts in Sierra Nevada: Challenges for conservation*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.

## Photo credits:

José Antonio Algarra Ávila: 17 (lower left); Carmelina Alvares Guerrero: 60; Enrique Ávila López: 32; Rut Aspizua Cantón: 152 (left), 155, 163 y 174; José Miguel Barea Azcón: 4, 29, 51, 68, 69, 72, 89, 108, 124, 130, 131, 135, 148, 162, 173, 177 y 204; Francisco Javier Bonet García: 20 y 61; M<sup>a</sup> Teresa Bonet García: 62; CMAOT: 18 y 158; Eva M<sup>a</sup> Cañadas Sánchez: 83; Fernando Castro Ojeda: 180; Antonio Extremera Salinas: 192; Antonio Gómez Ortíz: 38; Emilio González Miras: 104 y 105; Antonio José Herrera Martínez: 115; Javier Herrero Lantarón: 17 (lower and upper right); José Antonio Hódar Correa: 160.; José Enrique Larios López: 77; Alexandro B. Leverkus: 156; Francisco Megías Puerta: 80; Ricardo Moreno Llorca: 138 y 185; José Miguel Muñoz Díaz: 101, 150; Fco. Javier Navarro Gómez-Menor: 152 (right); Nubia consultores: 16; Franciso J. Olivares Villegas: 9; Manuel Otero Pérez: 92 y 112; José Vicente Pérez: 175; Antonio Jesús Pérez Luque: 65 y 170; Enrique Pérez Sánchez Cañete: 145 (left); Juan Carlos Poveda Vera: 117; Borja Ruiz Reverter: 145 (right); Ramón Sánchez Arana: 46; Cristina P. Sánchez Rojas: 96; Penélope Serrano Ortíz: 145 (centre) y Manuel Villar Argáiz: 85.

© of the present edition 2016, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía.

**D.L.:** GR/ 1122-2016

**I.S.B.N.:** 978-84-338-5960-0

**Graphic design and layout:** Creados Visual S.L.

**Print:** Imprenta Luque



Observatorio  
**Cambio Global**  
Sierra Nevada

# Global Change Impacts in Sierra Nevada: Challenges for conservation



**ugr** | Universidad  
de Granada

Collaborate:



# Contributors

---

**Domingo Alcaraz Segura**

dalcaraz@ugr.es  
Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España  
-  
Departamento de Biología y Geología  
Centro Andaluz para la Evaluación y Seguimiento del  
Cambio Global  
Universidad de Almería  
Ctra. Sacramento s/n. 04120 La Cañada de San Urbano  
(Almería), España

**José Antonio Algarra Ávila**

jalgarra@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Rut Aspizua Cantón**

rut.aspizua.ext@juntadeandalucia.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Área de Conservación, Espacio Natural de Sierra Nevada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
Carretera Antigua de Sierra Nevada, Km 7. 18191 Pinos  
Genil (Granada), España  
-  
raspizua@agenciamedioambienteyagua.es  
Departamento de Biología y Geología  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**José Miguel Azañón Hernández**

jazanon@ugr.es  
Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Elena Ballesteros Duperón**

eballesterosd@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**José Miguel Barea Azcón**

jbarea@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Maribel Benítez Lechuga**

mbenitez@ugr.es  
Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Cristina Bollulos Sánchez**

cbollulos@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Francisco Javier Bonet García**

fjbonet@ugr.es  
Laboratorio de Ecología del CEAMA  
Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema  
Tierra en Andalucía. Universidad de Granada  
Avda. del Mediterráneo s/n. 18006 Granada, España

**María Teresa Bonet García**

mterebonet@gmail.com  
Departamento de Historia Medieval y Ciencias y Técnicas  
Historiográficas, Facultad de Filosofía y Letras  
Universidad de Granada  
Campus Universitario de Cartuja. 18011 Granada, España

**Francisco José Bullejos Carrillo**

fjbullejos@gmail.com  
Department of Biology, Center of Ecological and  
Evolutionary Synthesis (CEES)  
University of Oslo  
P.O. BOX 1066 Blindern, 0316 Oslo, Norway

**Andrés Caballero Calvo**

andrescaballero@ugr.es  
Instituto de Desarrollo Regional  
Universidad de Granada  
C/ Rector López Argüeta, s/n. 18071 Granada, España

**Javier Cabello Piñar**

jcabello@ual.es  
Departamento de Biología y Geología  
Centro Andaluz para la Evaluación y Seguimiento del  
Cambio Global, Universidad de Almería  
Ctra. Sacramento s/n. 04120 La Cañada de San Urbano  
(Almería), España

**Francisco Mario Cabezas Arcas**

fmca.rfe@gmail.com  
Laboratorio de Ecología del CEAMA  
Instituto Interuniversitario del Sistema Tierra en  
Andalucía. Universidad de Granada  
Avda. del Mediterráneo s/n. 18006 Granada, España

**Francisco Javier Cano-Manuel León**

franciscoj.canomanuel@juntadeandalucia.es  
Área de Conservación, Espacio Natural de Sierra Nevada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
Carretera Antigua de Sierra Nevada, Km 7. 18191  
Pinos Genil (Granada), España

**Presentación Carrillo Lechuga**

pcl@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Jorge Castro Gutiérrez**

jorge@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad  
de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**José Antonio Delgado Molina**

jadelmo@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Francisco Domingo Poveda**

poveda@eeza.csic.es  
Departamento de Desertificación y Geoecología.  
Estación Experimental de Zonas Áridas  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)  
Ctra. Sacramento s/n. 04120 La Cañada de San Urbano  
(Almería), España

**María del Carmen Fajardo Merlo**

mfajardo@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Jesús Fornieles Callejón**

jforniel@ugr.es  
Departamento de Electromagnetismo y Física de la  
Materia, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Miguel Galiana García**

mgaliana@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Francisco Javier Galindo Parrilla**

fgalindo@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**José María Gil Sánchez**

jmgilsanchez@yahoo.es  
Wilder SOUTH  
Sociedad para el Estudio, Observación y Conservación de  
la Biodiversidad Mediterránea  
Dr. Prados Picazo 10, 4<sup>ª</sup>B. 18230 Atarfe (Granada), España

**Antonio Gómez Ortiz**

gomez@triumph.gub.es  
Grupo de Investigación Paisatge y paleoambients a la  
muntanya mediterrània y Servei de Paisatge. Facultat de  
Geografia i Història  
Universidad de Barcelona  
C/ Montalegre 6-8, 3<sup>ª</sup> planta. 08001 Barcelona, España

**Adela González Megias**

adelagm@ugr.es  
Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Emilio González Miras**

egmiras@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Almería  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**José Enrique Granados Torres**

josee.granados.ext@juntadeandalucia.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua.  
Área de Conservación, Espacio Natural de Sierra Nevada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía. Carretera Antigua de Sierra  
Nevada, Km 7. 18191 Pinos Genil (Granada), España

**Javier Herrero Lantarón**

herrero@ugr.es  
Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología  
Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema  
Tierra en Andalucía. Universidad de Granada  
Avda. del Mediterráneo s/n. 18006 Granada, España

**José Antonio Hódar Correa**

jhodar@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Gonzalo Jiménez Moreno**

gonzaloj@ugr.es  
Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad  
de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Yolanda Jiménez Olivencia**

yjimenez@ugr.es  
Instituto de Desarrollo Regional  
Universidad de Granada  
C/ Rector López Argüeta, s/n. 18071 Granada, España

**Andrew Kowalski**

andyk@ugr.es  
Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**María Rosa López Onieva**

Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Rogelio López Sanjuan**

rlopezs@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Javier Martín Jaramillo**

jmartinj@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Berta Martín López**

berta.martin@uam.es  
Laboratorio de Socio-Ecosistemas, Departamento  
de Ecología  
Universidad Autónoma de Madrid  
C/ Darwin 2. Edificio Biología. 28049 Madrid, España

**José María Martín Civantos**

civantos@ugr.es  
Departamento de Historia Medieval y Ciencias y Técnicas  
Historiográficas, Facultad de Filosofía y Letras  
Universidad de Granada  
Campus Universitario de Cartuja. 18011 Granada, España

**Juan Manuel Medina Sánchez**

jmedina@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Rosa Menéndez Martínez**

r.menendez@lancaster.ac.uk  
Department of Biological Sciences, Lancaster  
Environment Centre  
Lancaster University  
LA1 4YQ. Lancaster, United Kingdom

**Joaquin Molero Mesa**

jmolero@ugr.es  
Departamento de Botánica, Facultad de Farmacia  
Universidad de Granada  
Campus Universitario de Cartuja. 18011 Granada, España

**Carlos Montes del Olmo**

carlos.montes@uam.es  
Laboratorio de Socio-Ecosistemas, Departamento de  
Ecología  
Universidad Autónoma de Madrid  
C/ Darwin 2, Edificio Biología. 28049 Madrid, España

**Rafael Morales Baquero**

rtorales@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España  
-  
Instituto del Agua  
Universidad de Granada  
C/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada, España

**Ricardo Antonio Moreno Llorca**

ricuni@ugr.es  
Laboratorio de Ecología del CEAMA  
Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema  
Tierra en Andalucía. Universidad de Granada  
Avda. del Mediterráneo s/n. 18006 Granada, España

**José Miguel Muñoz Díaz**

jmmunoz@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Francisco Javier Navarro Gómez-Menor**

franciscoj.navarro@juntadeandalucia.es  
Área de Conservación, Espacio Natural de Sierra Nevada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
Carretera Antigua de Sierra Nevada, Km 7. 18191  
Pinos Genil (Granada), España

**Irene Navarro González**

irenavarrog@gmail.com  
Laboratorio de Ecología del CEAMA  
Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema  
Tierra en Andalucía. Universidad de Granada  
Avda. del Mediterráneo s/n. 18006 Granada, España

**Marc Oliva Franganillo**

oliva\_marc@yahoo.com  
Instituto de Geografía e Ordenamento do Território,  
Centro de Estudos Geográficos  
Universidade de Lisboa  
Edifício da Faculdade de Letras, Alameda da  
Universidade, 1600-214 Lisboa, Portugal

**Cecilio Oyonarte Gutiérrez**

coyonart@ual.es  
Departamento de Agronomía  
Universidad de Almería  
Edificio Científico Técnico II-B, Ctra. Sacramento s/n.  
04120 La Cañada de San Urbano (Almería), España

**Ignacio Palomo**

ignacio.palomo@uam.es  
Basque Centre for Climate Change (BC3)  
Alameda de Urquijo 4. 48008 Bilbao, España  
-  
Laboratorio de Socio-Ecosistemas, Departamento de  
Ecología  
Universidad Autónoma de Madrid  
C/ Darwin 2, Edificio Biología. 28049 Madrid, España

**José Vicente Pérez Peña**

vperez@ugr.es  
Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Enrique Pérez Sánchez-Cañete**

enripsc@ugr.es  
Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Antonio Jesús Pérez-Luque**

ajperez@ugr.es  
Laboratorio de Ecología del CEAMA  
Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema  
Tierra en Andalucía. Universidad de Granada  
Avda. del Mediterráneo s/n. 18006 Granada, España

**Ramón Pérez Pérez**

ramon@ugr.es  
Laboratorio de Ecología del CEAMA  
Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema  
Tierra en Andalucía. Universidad de Granada  
Avda. del Mediterráneo s/n. 18006 Granada, España



**Carmen Pérez Martínez**

cperezm@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Laura Porcel Rodríguez**

lporcel@ugr.es  
Instituto de Desarrollo Regional  
Universidad de Granada  
C/ Rector López Argüeta, s/n. 18071 Granada, España

**Jorge Portí Durán**

jporti@ugr.es  
Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Andrés Reyes Díez**

areyesdiez@gmail.com  
Departamento de Biología y Geología  
Centro Andaluz para la Evaluación y Seguimiento del  
Cambio Global  
Universidad de Almería  
Ctra. Sacramento s/n. 04120 La Cañada de San Urbano  
(Almería), España

**Silvia Rubio Rubio**

srubio@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Marta Sáinz Bariáin**

msainzb@ugr.es  
Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Alfonso Salinas Extremera**

asalinas@ugr.es  
Departamento de Electromagnetismo y Física de la  
Materia, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Montserrat Salvà Catarineu**

salva@ub.edu  
Grupo de Investigación Paisatge y paleoambients a la  
muntanya mediterrània i Servei de Paisatge. Facultat de  
Geografia i Història  
Universidad de Barcelona  
c/ Montalegre 6-8, 3ª planta. 08001 Barcelona, España

**Ferrán Salvador Franch**

fsalvador@ub.edu  
Grupo de Investigación Paisatge y paleoambients a la  
muntanya mediterrània i Servei de Paisatge. Facultat de  
Geografia i Història  
Universidad de Barcelona  
c/ Montalegre 6-8, 3ª planta. 08001 Barcelona, España

**Cristina Patricia Sánchez Rojas**

cpsanchez@agenciamedioambienteyagua.es  
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.  
Gerencia Provincial de Granada  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del  
Territorio, Junta de Andalucía  
C/ Joaquina Eguaras, 10. 18013 Granada, España

**Penélope Serrano Ortiz**

penelope@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Alberto Tinaut Ranera**

hormiga@ugr.es  
Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Manuel Villar Argaiz**

mvillar@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Carmen Zamora Muñoz**

czamora@ugr.es  
Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España

**Regino Jesús Zamora Rodríguez**

rzamora@ugr.es  
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada, España  
-  
Laboratorio de Ecología del CEAMA  
Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema  
Tierra en Andalucía. Universidad de Granada  
Avda. del Mediterráneo s/n. 18006 Granada, España

# Index

---

## 10 INTRODUCTION

### SIERRA NEVADA GLOBAL CHANGE OBSERVATORY: A FIRST DIAGNOSIS

---

#### 22 > 1. PAST CLIMATE TRENDS AND PROJECTIONS FOR THE FUTURE

24 > 1.1. Climate change over the last 50 years in Sierra Nevada

27 > 1.2. Climate in Sierra Nevada: present and future

32 > References

---

#### 34 > 2. SNOW COVER DYNAMICS AT THE SUMMITS OF SIERRA NEVADA

36 > 2.1. Monitoring the physical characteristics of the snow layer

39 > 2.2. Degradation of relict glacial ice and permafrost in Sierra Nevada

41 > 2.3. Thermal regime of the soil

43 > 2.4. Trend analysis (2000-2014) of the snow cover by satellite (MODIS sensor)

47 > References

---

#### 48 > 3. LAND-USE CHANGES AND SHIFTS IN VEGETATION COVER

50 > 3.1. Reconstruction of the vegetation from palynological analysis

53 > 3.2. Analysis of the palaeolimnological indicators in the lakes of Sierra Nevada

56 > 3.3. Land-use changes in Sierra Nevada over the last 50 years

59 > 3.4. Historical analysis of socio-ecological changes in the municipality of Cádiz (Alpujarra, Sierra Nevada) over the last 5 centuries

63 > 3.5. Historical irrigation systems and cultural landscapes of Sierra Nevada

66 > 3.6. The importance of past land uses in the natural regeneration of Holm oak woodlands under pine plantations

68 > References

---

70 > 4. GLOBAL CHANGE IMPACTS ON RIVERS AND ALPINE LAKES

- 72 > 4.1. Monitoring water quality in the rivers of Sierra Nevada
- 75 > 4.2. Changes in composition and abundance of benthic invertebrate communities
- 79 > 4.3. Monitoring populations of common trout
- 83 > 4.4. Sentinels of global change (I): mixotrophic algae in La Caldera Lake
- 86 > 4.5. Sentinels of global change (II): herbivorous consumers in La Caldera Lake
- 92 > References

---

94 > 5. POPULATION TRENDS

- 96 > 5.1. High-mountain plant communities: GLORIA
- 99 > 5.2. Plant population trends in Sierra Nevada
- 104 > 5.3. Amphibians and global change in Sierra Nevada
- 108 > 5.4. Changes in the bird communities of Sierra Nevada
- 111 > 5.5. Temporal dynamics of cliff-nesting raptor populations in Sierra Nevada
- 115 > 5.6. Demography of wild ungulate populations and disease prevalence
- 120 > 5.7. Shifts in the elevational ranges of insects in Sierra Nevada: evidence of climate change
- 123 > References

---

126 > 6. PHENOLOGY

- 128 > 6.1. Changes in diversity, abundance and flowering phenology in plant communities: a 25-year study of high-mountain meadows (borreguiles)
- 130 > 6.2. Changes in flowering phenology along environmental gradients
- 133 > 6.3. The phenology of butterflies in Sierra Nevada
- 138 > References

---

140 > 7. QUANTIFICATION OF CARBON FLUX IN NATURAL AND DISTURBED SYSTEMS

- 142 > 7.1. Changes in vegetation productivity according to teledetection
- 146 > 7.2. Exchanges of CO<sub>2</sub> and water vapour at the ecosystem scale
- 149 > References