

Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional  
Facultat de Geografia i Història  
Universitat de Barcelona



**Tesi doctoral**

***Reconstrucció paleoambiental holocena de Sierra Nevada  
a partir de registres sedimentaris***

Memòria presentada per en  
**Marc Oliva i Franganillo**  
Per optar al títol de Doctor en Geografia

Programa de Doctorat  
*Gestió ambiental, Paisatge i Geografia*  
Bienni 2004-2006

Els directors de tesi

Dr. Antonio Gómez Ortiz

Dr. Lothar Schulte

## CAPÍTOL 1

### **INTRODUCCIÓ**



## **1- Introducció**

En un context d'incertesa climàtica futura com l'actual, la comunitat científica és responsable d'informar a la societat de les repercussions que les activitats antròpiques poden tenir sobre el sistema natural i, en conseqüència, sobre la pròpia societat. Tot i algunes veus crítiques, existeix un ampli consens sobre la capacitat de l'home d'incidir en la dinàmica natural del clima i, actualment, es referma l'actuació antròpica com a detonant de l'augment tèrmic experimentat especialment a la segona meitat del segle XX.

La interacció del canvi climàtic amb altres esferes econòmiques, polítiques, socials i naturals obre un camp d'estudi per a les més diverses branques del saber. Els climatòlegs tenen un paper clau en extreure la probable senyal climàtica del canvi climàtic induït, tot i que tenen l'inconvenient de la reduïda extensió temporal de les sèries de dades. Els observatoris que tenen sèries climàtiques més llargues ens endinsen fins a finals del segle XVII; per tant, tenim poc més de dos segles de dades instrumentals. La variabilitat inherent al concepte de clima, associada a la conjunció de la inèrcia climàtica natural i l'activitat antròpica, determina la necessitat d'allargar el coneixement del clima passat per altres fonts. La paleoclimatologia requereix dels coneixements aportats per la geomorfologia, ciència moderna i versàtil, que pretén l'estudi de la morfologia de la superfície terrestre i de les empremtes deixades pels agents que la modelen, oferint-nos una finestra oberta al passat.

Les darreres dècades hi ha hagut un auge exponencial dels treballs relatius a la reconstrucció paleoambiental del medi físic quaternari amb l'objectiu de deduir així les fluctuacions climàtiques que van determinar les condicions ambientals en cada període: els processos geomorfològics responen conseqüentment a la variabilitat climàtica en funció del lloc en qüestió i la seva connectivitat amb el medi que l'envolta. La cronologia dels esdeveniments ambientals en escales temporals tan llargues sovint només permet una aproximació relativa; molts investigadors han pretès la reconstrucció del màxim impuls o fases de retrocés de les diferents glaciacions, tenint en compte que la petjada de les glaceres en muntanyes de latituds mitges emmascara l'evolució ambiental anterior.

Teòricament, l'estudi de l'Holocè en muntanyes desglaçades des del *Last Glacial Maximum* (LGM), com és el cas de Sierra Nevada, permet la reconstrucció de la seqüenciació dels canvis ambientals esdevinguts en el massís de manera continuada, sense buits temporals, podent establir així com la variabilitat climàtica condueix aquests canvis en el paisatge de la Sierra. L'estudi de l'Holocè és particularment interessant per determinar les fluctuacions climàtiques durant un període relativament constant i poder esbrinar les causes d'una sovint menyspreada variabilitat climàtica en un període amb una composició dels gasos d'efecte hivernacle similar a l'actual; a més d'emmarcar climàticament i desmitificar el mediàtic "canvi climàtic", la recerca focalitzada en l'Holocè, i molt especialment en l'anomenat Holocè tardà, proporciona informació als modelitzadors encarregats de generar escenaris climàtics futurs.

L'interès per estudiar l'evolució paleoambiental de Sierra Nevada rau en la seva posició latitudinal a l'extrem sud del continent europeu i al fet d'acollir alçades superiors als 3.000 m. En conjunt, els registres holocens manifesten una certa resistència als canvis ambientals, essent aquesta més atenuada en el cas de zones planeres. La Península Ibèrica destaca per ésser una àrea sensible a canvis d'escenaris climàtics. Via d'entrada dels fluxos atlàntics transportats per la Corrent del Golf es disposa, compacte, com a apèndix sud-occidental del gran continent euroasiàtic i en directe proximitat al continent africà, essent la porta que tanca la Mediterrània en el seu flanc occidental.

La Mediterrània és un mar peculiar per les seves característiques físiques que determinen una diversitat d'ecosistemes, medis i refugis ecològics. Jansà (1966) ja proclamava que "*la Mediterrània occidental és un racó endimoniadament original, massa autàrquic, massa particular i massa complicat*" en referència a la conjunció d'elements naturals que convergeixen en aquest sector del planeta. Constitueix una conca tancada per orles muntanyoses en tots els seus marges: Atlas, Apenins, Alps, Pirineus, Bètiques, etc. amb alçades que ultrapassen els 3.000 i 4.000 m que confereixen a les masses d'aire una protecció natural per al seu aïllament i pròpia naturalització. El ritme climàtic propicia també una marcada insolació en el moment més càlid de l'any, fet que determina una evaporació molt elevada, només esmorteïda per l'entrada d'aigua marina superficial per l'estret de Gibraltar. En els seus 2,5 milions de km<sup>2</sup> de superfície, l'entramat de penínsules, illes, arxipèlags, deltes i golfs trenquen qualsevol homogeneïtat i participen en un veritable mosaic de paisatges i microclimes.

Sierra Nevada s'emmarca, doncs, en una cruïlla d'influències, entre el continent europeu i el continent africà i entre l'oceà Atlàntic i el mar Mediterrani. A més, en el context peninsular la seva imbricada topografia de pics, carenes, circs, lloms i barrancs s'emplaça entre la Meseta castellana i les planícies litorals, esberlant el clima regional en una multitud de topoclimes i determinant un complex patró climàtic (Oliva & Moreno, 2008).

El fet de que els paràmetres climàtics reforcin verticalment el seu gradient amb l'alçada (Wanner et al., 2000) en un massís amb les cotes més prominents de la Península Ibèrica i on s'entrecreuen influències climàtiques de diferents escales (hemisfèriques, regionals i locals) insinua la idoneïtat de Sierra Nevada com a àrea d'estudi per a la variabilitat climàtica holocena. Desplaçaments, reforçaments o debilitaments dels centres d'acció rectors de la Circulació General Atmosfèrica (CGA) a l'Atlàntic Nord devien condicionar les condicions climàtiques imperants en cada moment. Per tal de provar aquesta hipòtesi de treball ens fixarem en dos registres sedimentaris del sector cimera de la Sierra emplaçats en alçades compreses entre els 2.500-3.000 m: els lòbuls de solifluxió i les llacunes d'alçada.

Els lòbuls de solifluxió són geofomes característiques d'ambients periglacials, tot i que també es detecten moviments solifluidals en pendents saturats d'aigua sota condicions tèrmiques superiors; a la Sierra s'ubiquen en el cinturó periglacial actual, allà on la cobertura vegetal es veu dificultada pels rigors climàtics dominants. Una de les hipòtesis de la recerca és que les fluctuacions climàtiques holocenes han desplaçat verticalment el cinturó periglacial, propiciant el domini de la solifluxió o de l'edafogènesi depenent de la combinació de temperatura i humitat. L'estructura sedimentària dels lòbuls permet inferir nombroses fases amb condicions favorables a la solifluxió i d'altres més propícies per al desenvolupament edàfic.

El monitoratge tèrmic i el control dinàmic que s'ha dut a terme entre els anys 2005-2008 pretén calibrar els processos solifluidals actuals en relació amb els valors de temperatura i precipitació presents i contrastar-los amb els registres del passat, podent deduir així les condicions climàtiques responsables d'aquest encadenament de fases d'inestabilitat/estabilitat de vessants durant l'Holocè.

Per la seva banda, les llacunes de la Sierra són cossos d'aigua que s'emplanten a l'interior dels circs en alçades properes als 3.000 m. Els llacs són arxius naturals que emmagatzemen en el seu fons els sediments erosionats de la conca de drenatge i ofereixen la possibilitat de reconstruir els canvis ambientals esdevinguts a les culminacions del massís de manera continuada, sense interrupcions temporals. Possiblement, les llacunes de Sierra Nevada han romàs lliures de gel des de la desglaciació del LGM al vessant meridional i des del Tardiglaciari en els circs septentrionals, fet que garanteix que els sediments lacustres de la Sierra cobreixin el nostre marc temporal d'estudi. Una altra hipòtesi de la present recerca és la petjada que els canvis en la CGA a l'Atlàntic Nord han deixat en les llacunes nevandeses. La informació que podem inferir dels seus sediments a partir dels procediments analítics emprats contempla l'activitat de vessants durant els darrers mil·lennis: determinar els períodes en què dominava una major erosió, mobilització, transport i sedimentació de partícules minerals al fons del llac (inclús amb reaparicions seculares de la glacera en el Corral del Veleta) i d'altres fases en què les condicions climàtiques imperants possibilitaven un major desenvolupament vegetal a la conca, disminuint així l'erosió i prevalent l'estabilitat geomòrfica. La informació paleoclimàtica que se n'extreu d'aquesta evolució paleoecològica fa referència a la successió de fases humides/àrides i de períodes més freds/càlids durant els darrers mil·lennis.

La integració de la informació inferida dels lòbuls de solifluxió i aquella derivada dels sediments lacustres ens permetrà reconstruir la dinàmica de vessants a Sierra Nevada a escala holocena. Segons els treballs d'investigació realitzats fins ara, durant les fases en què dominava una activa solifluxió, la coberta vegetal devia ésser inferior i la inestabilització de vessants es veuria afavorida, detectant-se una senyal climàtica paral·lela tant en els lòbuls com en els llacs (Oliva et al., *accepted*). En canvi, en aquelles fases en què dominava l'edafogènesi en els lòbuls, l'erosió devia disminuir i l'aportació mineral en els llacs seria també inferior. La contrastació d'aquestes fases geomòrfiques amb diferents *proxies* regionals, hemisfèrics i globals permetrà determinar les condicions climàtiques dominants a l'Atlàntic Nord i, específicament, al sud de la Península Ibèrica i concretar la seva translació en els processos geomorfològics que tenen lloc a la Sierra. Alhora, també servirà per estimar la sensibilitat del massís a la CGA i per refermar la component local de la resposta geomorfològica a les culminacions de Sierra Nevada.

## Estructura de la tesi

El primer capítol pretén una introducció a les hipòtesis de treball, metodologies i objectius que persegueix la present tesi doctoral. El capítol 2 sintetitza una completa descripció geogràfica dels diferents elements del sistema natural que componen el paisatge de Sierra Nevada així com una ressenya dels treballs previs relatius a la reconstrucció paleoambiental del massís, des del Pleistocè fins als processos freds actuals.

El capítol 3 desgrana la metodologia emprada en l'estudi dels lòbuls de solifluxió i dels sediments lacustres de Sierra Nevada, descrivint les tècniques utilitzades, les finalitats que persegueixen i la informació paleoambiental que ens proporcionen.

L'estudi dels lòbuls de solifluxió s'ha vertebrat en els capítols 4 i 5. El capítol 4 detalla la cartografia dels sectors on s'ubiquen els lòbuls i s'analitza la morfometria dels mateixos, posant especial èmfasi en la topografia que acull aquestes geformes solifluidals; es presenten també els resultats de la monitorització dinàmica de la solifluxió entre els anys 2005-2008 i l'evolució del règim tèrmic del sòl durant el mencionat període, per tal de relacionar les condicions climàtiques actuals amb la solifluxió present avui a Sierra Nevada.

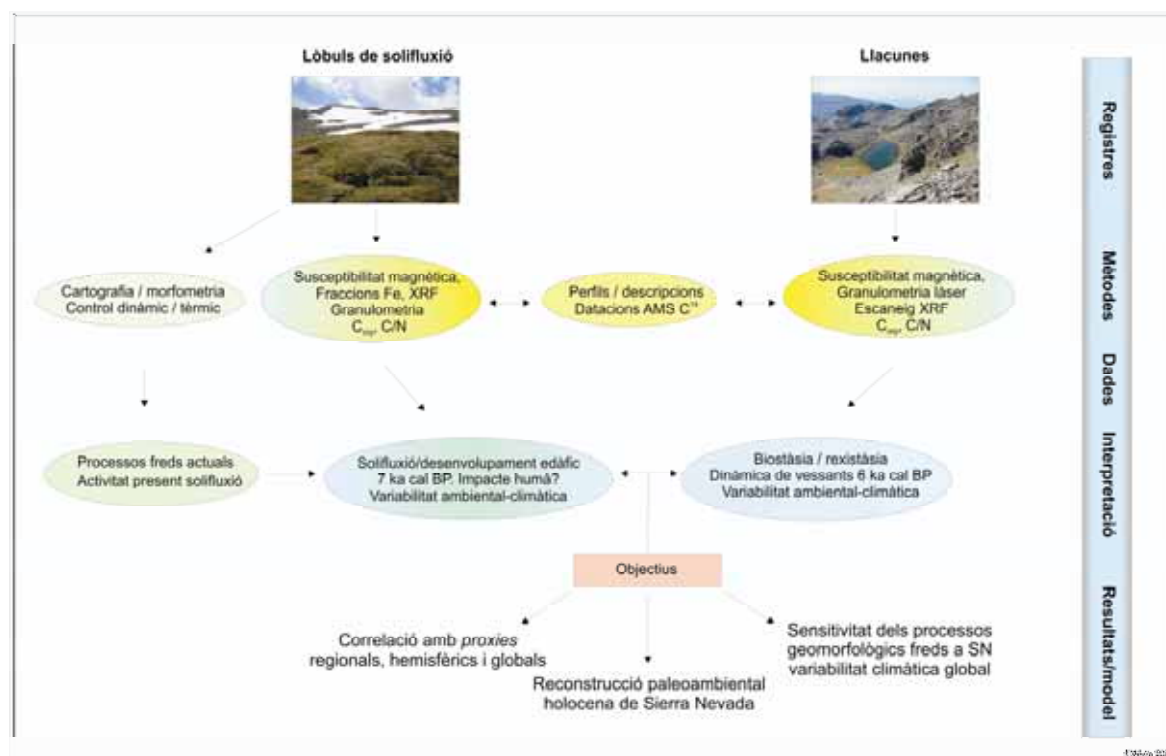


Figura 1.1 Estructura de la present tesi doctoral.



El capítol 5 presenta els diferents perfils sedimentaris de la trentena de lòbuls estudiats i els resultats corresponents a la seva analítica, evidenciant-se la successió de fases solifluidals i de desenvolupament de sòls durant l'Holocè.

El capítol 6 es focalitza en les llacunes de Sierra Nevada i es presenten els resultats individualitzats dels *cores* extrets de quatre llacs de la Sierra. Es discuteixen els registres sedimentaris i l'analítica de cada un d'ells, intentant desxifrar les principals fases d'instabilitat de vessants dels últims mil·lennis.

El capítol 7 integra tota la informació dels capítols 5 i 6 i pretén reconstruir una cronologia de la solifluxió per a les dues valls d'estudi, San Juan i Rio Seco, i sintetitzar l'evolució paleoecològica derivada dels sediments lacustres en una cronologia paral·lela de les diferents fases d'activitat de mobilització mineral als circs de la Sierra. Finalment, la contrastació de la dinàmica ambiental holocena a Sierra Nevada amb *proxies* regionals, hemisfèrics i globals, suggereix la sensibilitat dels processos geomorfològics locals a la variabilitat climàtica multiescalar.

La tesi conclou amb el capítol 8, dedicat a una síntesi de tota la informació que engloba la tesi. Seguidament, s'inclouen les referències i un annex amb taules i gràfics complementaris al text principal.