

Evolució climàtica de la plana occidental catalana durant els darrers 4.000 anys: primers resultats de la discriminació isotòpica del carboni ($\Delta^{13}\text{C}$)

Es presenta en aquest treball la primera aplicació de l'estudi de l'evolució de la discriminació isotòpica del carboni ($\Delta^{13}\text{C}$) en una zona de la península ibèrica molt ben delimitada geogràficament i amb unes condicions climàtiques molt uniformes: la plana occidental catalana. La $\Delta^{13}\text{C}$ de grans i, sobretot —de manera pionera—, de carbons arqueològics, ha permès inferir les condicions hídriques en les que van créixer diverses espècies vegetals (pi blanc, *Pinus halepensis*, blat nu, *Triticum aestivum/durum*, i ordi vestit, *Hordeum vulgare*) entre aproximadament el 1700 cal. ANE i l'actualitat.

A partir dels resultats obtinguts s'ha pogut establir una precipitació mitjana en tot moment superior a l'actual, amb un període de destacada aridesa durant el primer mil·lenni a.n.e., que comença a remuntar cap al 500 a.n.e. fins a un màxim de precipitació en els inicis de la nostra era, i un posterior decreixement progressiu fins arribar als nostres dies.

Paraules clau: paleoclimatologia, plana occidental catalana, discriminació isotòpica ^{13}C , pluviometria, protohistòria, història.

In this work we present the first study of the evolution of carbon isotope discrimination ($\Delta^{13}\text{C}$) in a zone from the Iberian Peninsula very well delimited geographically: the Western Catalan Plane. $\Delta^{13}\text{C}$ of grains and, specially —as a pioneer work— of archaeological charcoal allowed us to infer the water conditions in which several plant species were grown (Aleppo pine, *Pinus halepensis*, naked wheat, *Triticum aestivum/durum*, and hulled barley, *Hordeum vulgare*) between ca. 1700 cal BCE and present times.

From the results obtained it has been possible to determine that average precipitations in the past were generally higher than today. However, an arid period was detected during the first millennium BCE, following an increase in precipitation at about 500 BCE, reaching a maximum in the beginnings of current era, and a progressive decrease in precipitation until present times.

Key words: Palaeoclimatology, western catalan plain, ^{13}C isotope discrimination, rainfall, Protohistory, History.

“I vet aquí que..... de cop i volta, amb l'embranchada dels vents i la crescuda de les aigües, el pont es partí...”

G.JULI CÈSAR *Comentaris de la Guerra Civil* (I, XL.3)

“Es congrirà una tempesta tal, que no consta que mai s'hagués vist en aquells indrets un aiguat més fort. Llavors, de sobrepuig, va fer fondre les neus de totes les muntanyes i l'aigua pujà per damunt de les parts més altes de les ribes del riu, i en un sol dia va rompre els dos ponts que Gai Fabi havia construït.”

G.JULI CÈSAR *Comentaris de la Guerra Civil* (I, XLVIII.1-2)

Introducció

En el marc històric de la batalla d'*Ilerda* entre Cèsar i els partidaris de Pompeu, el 49 a.n.e., és quan trobem la primera constància escrita sobre un episodi climàtic a la plana occidental catalana, les avingudes del riu Segre són una constant en el devenir de la ciutat de Lleida, fins a la darrera, de gran magnitud, soferta en 1982.

La població de la plana ha estat sotmesa —com ho estan totes les societats humanes— a les condicions del clima existent en el moment en el qual s'ha desenvolupat, i per tant també als resultats del seu impacte sobre els elements físics i biològics del medi natural. El clima pot definir-se com “la síntesi del conjunt fluctuant de les condicions atmosfèriques, en una àrea determinada, que correspon a un període suficientment llarg perquè sigui geogràficament representatiu” (FONT 1988, 11). No resta, doncs, invariable al llarg de la història, sinó que ha evolucionat d'una manera dinàmica.

Les causes d'aquestes fluctuacions poden ser de dos tipus: naturals —alienes a l'activitat humana— o de-riades de l'acció antròpica. Les primeres corresponen a variacions en la rotació de l'eix de la Terra, modificacions a llarg termini de l'excentricitat de l'òrbita del planeta o variacions de la llum solar per algunes latituds... (MAGNY 1995). Les segones són conseqüència, per exemple, de la destrucció massiva de zones forestals, la qual ha comportat la desertització de grans extensions del planeta, o de l'emissió de gasos contaminants, causant de l'anomenat “efecte hivernacle”, que ha comportat un increment global de les temperatures, la destrucció de la capa d'ozó i l'augment del nivell del mar pel desgel dels casquets polars.

Evidentment, la plana occidental catalana no és aliena a aquests fenòmens i fluctuacions. Precisament, en l'actualitat, el clima és una de les característiques que singularitzen aquesta zona, immersa dins els trets generals de la Depressió de l'Ebre (fig. 1) (CONESA *et al.* 1994, 21-29).

En la seva part central és un clima continental molt condicionat per la baixa altitud i amb oscil·lacions tèrmiques molt marcades, tant al llarg de l'any com entre les temperatures diürnes i nocturnes. La temperatura mitjana anual es troba al voltant dels 14°C. Així, el mes de gener és el més fred (amb unes temperatures mitjanes d'uns 5°C, i unes temperatu-

res mitjanes mínimes absolutes d'entre 7 i -3°C) i el més càlid és el de juliol (amb mitjanes d'uns 25°C i mitjanes màximes absolutes entre 35 i 43°C).

A causa de la barrera que exerceix la Serralada Litoral Catalana, els vents marins d'efecte temperat i carregats d'humitat tenen dificultat per arribar a la plana, de manera que queda aïllada del mar, fet que li dona aquest caràcter continental. L'oscil·lació tèrmica anyal és la més gran de Catalunya.

L'escassa pluviometria i la seva irregularitat són unes de les característiques definidores del seu clima, amb precipitacions anuals que varien entre els 350 i els 400 mm, depenent de la variació geogràfica dins la plana, amb dos màxims de precipitació, un a l'abril-maig i l'altre, sovint lleugerament inferior, al setembre-octubre. En la part central, el mínim estival pot ser molt baix, inferior als 30 mm, després de sumar el juliol i l'agost, cosa que provoca un estiu molt eixut i càlid, característic d'un clima subàrid.

Tot i així, el fet que les estacions més plujoses siguin la primavera i la tardor afavoreix els cultius, malgrat que, sovint, la irregularitat i baixa intensitat d'aquestes pluges fan de l'aigua un factor limitant pel que fa a l'agricultura. La irregularitat pot donar de 5 a fins i tot 7 mesos secs i existeix una forta probabilitat que qualsevol mes de l'any pugui ser-ho.

El tipus climàtic principal de la plana occidental és, per tant, el mediterrani continental temperat, amb màximes superiors a les del tipus mediterrani temperat. Tanmateix, no és un clima uniforme per a tota la zona, sinó que existeixen variacions zonals causades per una sèrie de factors modificadors del clima (CONESA *et al.* 1994, 26-29): la distància del mar, l'altitud i l'o-rientació i exposició, que als vessants de solana i els d'obaga comporten canvis de vegetació fins i tot en els petits turons.

No obstant això, tal com hem dit, el clima no és estable, i l'estudi de la seva evolució és una de les línies d'investigació de diversos grups de recerca de la Universitat de Lleida reunits inicialment sota el projecte “Evolució de les condicions d'aridesa a la plana de Lleida durant els darrers cinc mil·lennis: inferència mitjançant la discriminació isotòpica del carboni” i finançat per la pròpia universitat en el període 1999-2001. L'estudi pretén una aproximació diacrònica a les condicions climàtiques de la zona mitjançant l'anàlisi d'isòtops estables realitzada sobre restes arqueobotàniques (principalment llavors i fruits i carbons de fusta) recuperades a les excavacions arqueològiques.

El projecte inclou una llarga seqüència temporal, només acotada per la disponibilitat de material arqueobotànic i paleoecològic per a realitzar l'estudi, de manera que esperem que es vagi ampliant al llarg dels propers anys (tant pel que fa a l'antiguitat de les mostres com a l'eliminació dels buits cronològics existents). Igualment, s'obre la possibilitat de treballar amb altres espècies vegetals diferents a les fins ara utilitzades en les analítiques (principalment l'ordi vestit, el blat nu i el pi blanc) i que ens permetrà de ben segur una aproximació més precisa a la caracterització climàtica de la zona.

Els estudis de reconstrucció climàtica: la paleoclimatologia

L'interès per la climatologia del passat es remunta al segle XIX i el seu estudi es realitza des de disciplines ben diverses: biologia, meteorologia, geografia, arqueologia, història... Les tècniques de reconstrucció climàtica són, doncs, també diverses, tant com les fonts d'informació. Es poden agrupar en tres (ALEXANDRE 1987, 793; FONT 1988,13-22; MARTÍN-VIDE - BARRIENDOS 1995, 201):

1. Registres de dades meteorològiques obtingudes mitjançant instrumentari específic (baròmetres, termòmetres, pluviòmetres, higròmetres, anemòmetres...). Evidentment són les més fiables, però a la Península Ibèrica no s'inicien les primeres sèries sistemàtiques d'observacions fins a mitjan segle XVIII. Tot i així no serà fins a finals del segle XIX i principis del XX, que s'implantarà una xarxa d'estacions principals i una altra de secundària que s'estendrà per tot el territori.
2. Informació documental escrita. La quantitat de documents escrits conservats fins a l'actualitat és tan abundant com heterogènia: arxius eclesiàstics i municipals, arxius privats, cròniques, memòries, relats de viatgers i, fins i tot, vides de sants. El tipus d'informació proporcionada per aquestes fonts se centra generalment en fenòmens meteorològics, biològics o hídrics. Les característiques del clima mediterrani fan que el tipus d'informació documentada estigui en relació fonamentalment amb la temperatura (contrastos anuals moderats) però sobretot amb els patrons de precipitació (que demostren contrastos anuals i interanuals). En el cas d'excés d'aigua —normalment aiguats i inundacions—, la informació se centra en els danys causats, mentre que quan es tracta de sequeres —amb conseqüències més graduals però més generals— la font principal són les cerimònies de rogació *pro pluvia*.
3. Informació *proxy*. Es basa en l'impacte que té el clima sobre els elements físics i biològics del medi natural, que és l'única disponible per als períodes no coberts per les dues anteriors. La seva interpretació permet inferir les característiques climàtiques del passat a partir d'una gran varietat de valors indirectes (MAGNY 1995): anàlisis polícniques, anàlisis de flora i fauna, anàlisis de sòls i de processos geomorfològics, examen de dipòsits dels fons marins, estudis de les oscil·lacions en el nivell del mar, dendroclimatologia, estudi de les fluctuacions de nivells i d'altres indicadors en els llacs, estudis de les glaceres o anàlisis del ^{14}C residual, així com els estudis de composició isotòpica de l'oxigen, de l'hidrogen o, més concretament, del carboni, que és el que ens ocupa en aquest treball.

La discriminació isotòpica del ^{13}C ($\Delta^{13}\text{C}$)

1. Isòtops: àtoms d'un mateix element químic que només difereixen per les masses dels seus nuclis.

El ^{13}C és un isòtop¹ estable del carboni (C) que està present a l'atmosfera en forma de molècules de CO_2 en una proporció molt més petita (de l'ordre de l'1% del CO_2 total atmosfèric) que la del ^{12}C , l'altre isòtop estable de carboni existent a la biosfera. Durant el procés de fotosíntesi, les espècies vegetals incorporen el CO_2 atmosfèric a través dels estomes, petits orificis ubicats a les fulles que a la seva vegada controlen les pèrdues d'aigua per transpiració (fig. 2). No obstant això, les plantes contenen en els seus teixits proporcionalment menys ^{13}C que el present en el CO_2 que assimilen, de manera que la seva composició isotòpica (a la qual ens referim com a $\delta^{13}\text{C}$) és inferior a la de l'aire. Aquest fenomen es deu al fraccionament (o incorporació diferencial) dels isòtops que té lloc durant la fotosíntesi, i és especialment significatiu en espècies amb mecanisme fotosintètic del tipus C_3 (FARQUHAR *et al.* 1982 i 1989). Entre aquestes espècies hi trobem bona part dels cultius i espècies forestals propis de la nostra geografia.

A més de dependre de la composició isotòpica de la font de carboni per les plantes (és a dir, l'aire, δ_a), la composició en l'isòtop estable del carboni ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) dels teixits vegetals es veu directament influenciada per la disponibilitat hídrica durant el creixement, reflectida des del punt de vista del funcionament fisiològic en el quocient entre les pressions parcials de CO_2 , intracel·lular i atmosfèrica (p_i/p_a) (FARQUHAR *et al.* 1989).

L'efecte de la δ_a sobre la $\delta^{13}\text{C}$ del teixit vegetal (en realitat, δ_a ha fluctuat marcadament i de forma coneguda durant els darrers 10.000 anys) es té en compte obtenint un valor corregit sobre la base del valor $\delta^{13}\text{C}$. Així s'obté l'anomenada discriminació isotòpica del carboni ($\Delta^{13}\text{C}$), que reflecteix bàsicament diferències de disponibilitat d'aigua o règim hídric en els teixits vegetals analitzats (FERRIO *et al.* 2003b).

Els tipus de materials vegetals sobre els quals es poden dur a terme anàlisis de discriminació isotòpica poden resumir-se en els següents (FLORIT 2001, 12):

- a) Carbohidrats no estructurals solubles o midó, generalment en fulles o tiges no lignificades: proporciona informació sobre variacions a curt termini de l'estat hídric dels vegetals, fins a períodes d'1 o 2 dies màxim.
- b) Carbohidrats estructurals en teixits sintetitzats en el període vegetatiu en curs, com ara fulles d'espècies herbàcies i llenyoses, tiges d'espècies herbàcies o granes de cultius anuals: en aquest cas, la $\Delta^{13}\text{C}$ actua com a paràmetre integrador de les condicions hídriques en les quals s'ha desenvolupat la planta fins al moment del mostreig.
- c) Carbohidrats estructurals en teixits llenyosos, ja que la fusta es compon bàsicament de carboni, hidrogen i oxigen: l'anàlisi de la composició isotòpica dels anells de creixement proporciona un registre del clima en el moment que es va sintetitzar l'anell corresponent.
- d) Carbohidrats estructurals en restes arqueològiques, com granes de conreus herbàcies o fusta carbonitzada. Atès que, en alguns casos, la carbonització no afecta significativament la composició isotòpica (DE NIRO-HASTORF 1985; MARINO-DE NIRO

1987), o bé l'alteració soferta pot corregir-se utilitzant models adients (FERRIO *et al.*, enviat per a la seva publicació), l'anàlisi del material carbonitzat permet inferir, doncs, les condicions climàtiques (generalment la precipitació) en què es va formar el material.

Molt abans que es conegués l'existència dels isòtops estables i la seva relació amb les condicions climàtiques, la dendroclimatologia (reconstrucció ambiental a partir de l'estudi dels anells de creixement) ja era una eina habitual en els treballs paleoecològics (ROBINSON *et al.* 1990). Per tant, no és gens estrany que l'anàlisi isotòpica dels anells de creixement fos ràpidament aplicada pels especialistes, i de fet molts dels treballs pioners en l'estudi dels isòtops de carboni es van dur a terme en aquest tipus de material (CRAIG 1954; PEARMAN *et al.* 1976).

D'aleshores ençà, la $\Delta^{13}\text{C}$ de fusta o cel·lulosa en anells de creixement ha estat relacionada amb nombroses variables ambientals (vegeu SWITSUR-WATERHOUSE 1998; WARREN *et al.* 2001 per a una revisió d'aquest tema). A les zones on l'aigua és un factor limitant, com és el cas de la conca mediterrània, les relacions més clares són aquelles que associen la $\Delta^{13}\text{C}$ amb diversos indicadors de la disponibilitat d'aigua, com ara la precipitació anual (KOROL *et al.* 1999; WARREN *et al.* 2001; FERRIO *et al.* 2003a, FERRIO-VOLTAS 2005).

L'aplicació d'aquest tipus de relacions sobre extenses sèries dendrocronològiques ha permès reconstruccions climàtiques d'alta resolució que cobreixen els darrers 11.000 anys (McCORNAC *et al.* 1994; TRIMBORN *et al.* 1995). Malauradament, moltes zones del món, com ara la depressió de l'Ebre, han estat extensament desforestades i no disposem de sèries d'anells de creixement anteriors al 1.400 d.n.e. (CREUS *et al.* 1996). Per tant, per tal d'obtenir inferències més precises sobre les condicions climàtiques del passat en aquestes zones són necessàries altres fonts de material on puguin realitzar-se les anàlisis isotòpiques, com ara el material vegetal carbonitzat trobat en jaciments arqueològics.

Durant els anys noranta del segle xx, la $\Delta^{13}\text{C}$ mesurada en restes arqueobotàniques carbonitzades, principalment granes de cereals, va ser proposada com a mètode per avaluar l'aigua rebuda pels conreus antics, bé fos a causa de la precipitació o per pràctiques d'irrigació (ARAUS-BUXÓ 1993; ARAUS *et al.* 1997 a i b; ARAUS *et al.* 1999 a). A més, i com a extensió de la metodologia d'inferència de l'estat hídric dels conreus, també ha permès estimar la producció dels cereals en el passat (ARAUS *et al.* 1999 b).

Des del punt de vista de la reconstrucció climàtica, la principal limitació de l'estudi de les granes de cereals es troba en el fet que són plantes conreades. Així, la disponibilitat d'aigua dels cereals pot veure's afectada no només per variacions climàtiques, sinó també per canvis en els mètodes de conreu (irrigació, profunditat del treball del sòl). Per tant, abans de poder extreure conclusions definitives a partir de l'estudi de la $\Delta^{13}\text{C}$ dels cereals, és necessari disposar d'un material de referència que no es vegi afectat directament per l'acció humana.

En aquest context, l'estudi dels carbons d'espècies forestals es presenta com la millor alternativa. Alguns

autors (VERNET *et al.* 1996; FEBRUARY 2000) han presentat evidències indirectes que la $\Delta^{13}\text{C}$ en carbons arqueològics pot servir com a indicador paleoclimàtic. Amb tot, el nostre equip ha estat pioner a demostrar experimentalment que el senyal climàtic de la $\Delta^{13}\text{C}$ en fusta és encara present al material carbonitzat, així com a obtenir un model quantitatiu que permeti reconstruir els valors de precipitació a partir de la $\Delta^{13}\text{C}$ dels carbons (FLORIT 2001, FERRIO *et al.*, enviat per a la seva publicació).

Les mostres arqueològiques: context i cronologia

Els jaciments arqueològics estudiats s'han seleccionat d'acord amb la disponibilitat de restes arqueobotàniques, fossin llavors de blat nu, *Triticum aestivum/durum*, i ordi vestit *Hordeum vulgare*, com carbons, en un principi de pi blanc, *Pinus halepensis* (fig. 3). Gràcies al fet que des de finals dels anys vuitanta del segle xx la Universitat de Lleida està duent a terme un programa sistemàtic de recollida de mostres, sobretot d'època protohistòrica, però també posterior, el nombre de jaciments implicats és considerable.

Tot i així, pel que fa al període romà i posteriors les dades corresponen únicament a intervencions dutes a terme a la ciutat de Lleida pel Servei Municipal d'Arqueologia, gràcies a un conveni de col·laboració existent entre la Paeria i la Universitat de Lleida, plasmat en el projecte "Recerca interdisciplinària en el marc de l'arqueologia urbana: paisatge, agricultura i alimentació en la Lleida romana i islàmica".

En una primera fase del projecte de reconstrucció paleoclimàtica de la plana occidental catalana mitjançant la $\Delta^{13}\text{C}$ es va treballar amb els jaciments que havien proporcionat blat nu i ordi vestit: Minferri (Juneda, les Garrigues), Masada de Ratón (Fraga, el Baix Cinca), Tozal de los Regallos (Candasnos, Baix Cinca), El Vilot (Alcarràs, el Segrià), Els Vilars (Arbeca, les Garrigues), Roques del Sarró (Lleida, el Segrià), Margalef (Torregrosa, el Pla d'Urgell), Tossal de les Tenalles (Sidamon, el Pla d'Urgell) i Lleida ciutat (el Segrià) (ALONSO 1992; 1999; i en premsa; ALONSO *et al.* 2002). Els períodes abastats van des del bronze ple de Minferri fins a la Lleida islàmica.

Posteriorment, per a l'anàlisi sobre carbons se'ls va afegir el jaciment de Vincament (Fraga, Baix Cinca), del Grup del Segre-Cinca II, i una major quantitat de mostres d'època romana republicana i imperial, així com dels segles xvi-xvii i xviii d.n.e de la ciutat de Lleida. La identificació arqueobotànica dels carbons va ser feta per M. T. Ros (ROS 1993; 1995 a i b; 1997; EQUIP SARRÓ 2000) i R. Piqué (PIQUÉ 1998; 1999; ALONSO *et al.* 2002).

En referència als sistemes de datació emprats, en el primer treball sobre el material carpològic es va optar per treballar amb dates BP, mentre que per als carbons —és la línia actual que se segueix per a la consecució del projecte— s'han utilitzat les datacions calendàriques.

De tota manera, el sistema de datació del material arqueobotànic no és uniforme per a tots els jaciments i fases. En general no corresponen a una datació radiocarbònica dels propis fragments analitzats, sinó

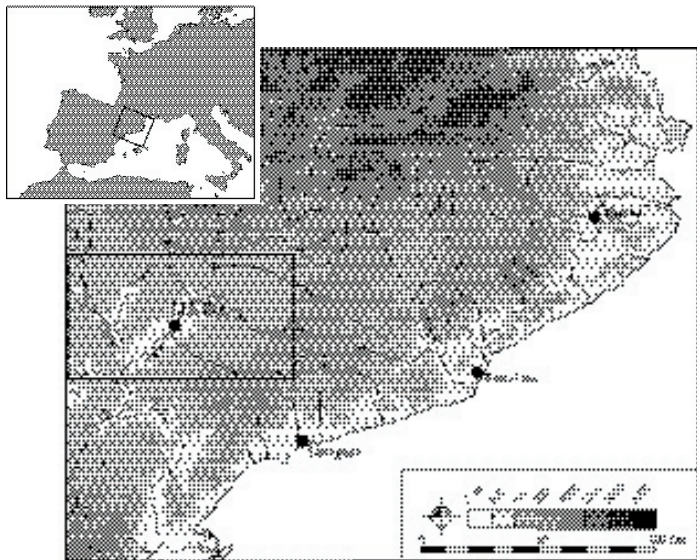


Fig. 1. Ubicació de la plana occidental catalana.

Fig. 2. Durant el procés de fotosíntesi les espècies vegetals incorporen l'isòtop estable ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$), que es troba a l'atmosfera, a través dels seus estomes. La $\delta^{13}\text{C}$ depèn de la composició isotòpica de l'aire (δ_a) i de la disponibilitat hídrica durant el creixement dels teixits vegetals. Si es té en compte l'efecte de δ_a sobre la $\delta^{13}\text{C}$ del teixit vegetal, s'obté un valor corregit, $\Delta^{13}\text{C}$, que reflecteix bàsicament les condicions hídriques (a partir d'ARAUS *et al.* 1998).

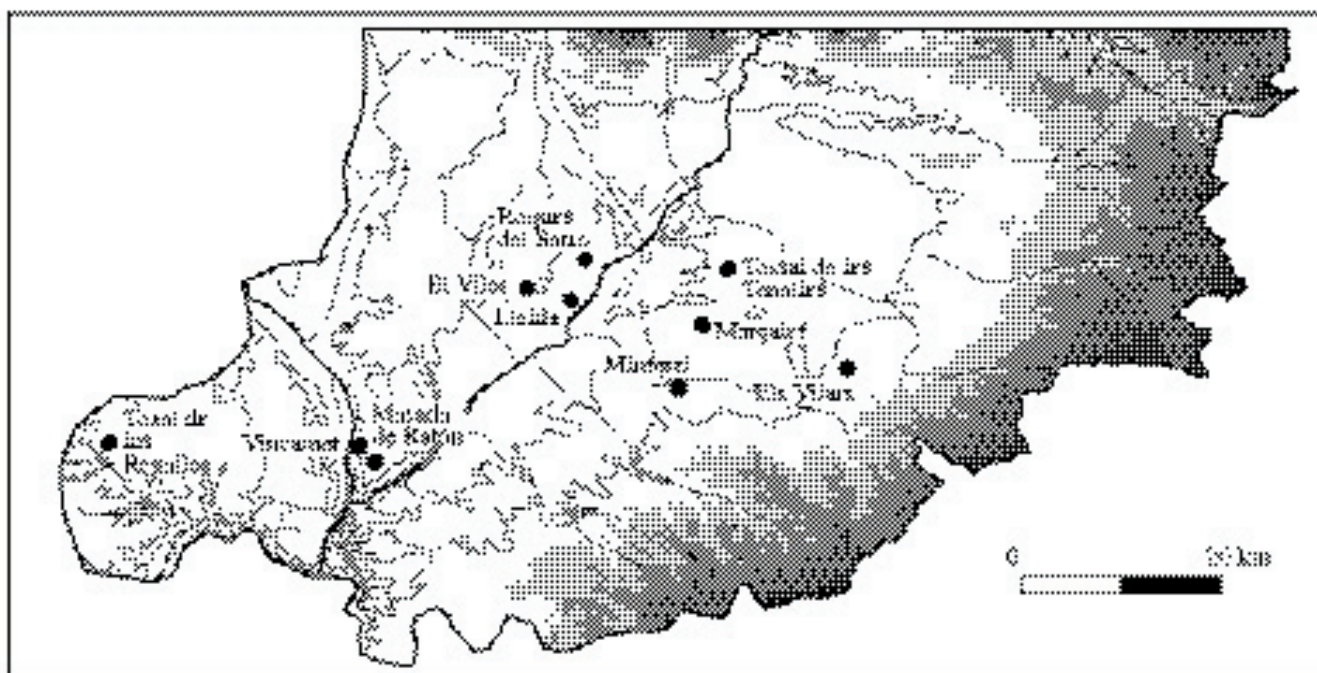
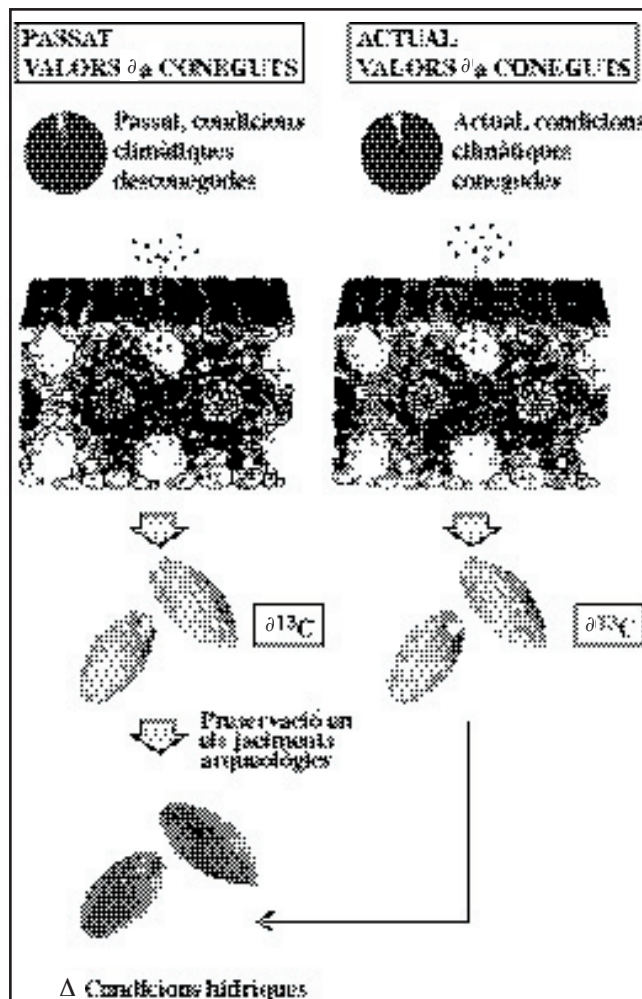


Fig. 3. Jaciments arqueològics amb mostres arqueobotàniques analitzades.

Jaciment	Municipi	DATACIONS RADIOCARBÒNIQUES			cal. ANE UE		Mit. IMP	fase/estr.	cal. ANE fase/estr. Med. IMP	Datacions arqueològiques	Bibliografia
		UE	ref. lab.	BP estrat	cal. ANE (2 signes)	cal. ANE (2 signes)					
Mimferri	Jumeda	UE 2075	Beta-92279	3380±70	1879 (1685) 1517	1673				Equip Mimferri 1997, 196 i ss.	
Masada de Ratón	Fraga	Nivell Id	Beta-75770	3060±110	1524 (1371, 1357, 1352, 1341, 1317) 999	1261,5				López 2000, 656 i ss.; 2001, 64	
Vincamet	Fraga	UE 1121-1	Beta-164904	2930±40	1288 (1186, 1183, 1128) 1001	1113,5	Vincamet I	1098		Inèdita	
Vincamet	Fraga	UE 1121-2	Beta-193479	2890±40	1255 (1047) 928	1081,5	Vincamet I	1098		Inèdita	
Masada de Ratón	Fraga	Nivell Ia	GrN-18638	2873±16	1185 (1016) 982	1061,5				López 2000, 656 i ss.; 2001, 64	
Masada de Ratón	Fraga	Nivell Ic	GrN-18639	2852±15	1048 (1003) 936	987,5				Rodanés 1991, 5-12	
Toza de los Regallos	Candasnos	UE 1201						896		Inèdita	
Toza de los Regallos	Candasnos	UE 7003						896		Inèdita	
Toza de los Regallos	Candasnos	UE 1202						896		Inèdita	
Toza de los Regallos	Candasnos	UE 7004						896		Inèdita	
El Vilot de Montagut	Alcarràs	UE 1046-1	Beta-119124	2770 ±70	1125 (904) 802	928	Vilot III	888		Alonso <i>et al.</i> 2002, 231+239	
El Vilot de Montagut	Alcarràs	UE 1046-2	Beta-119123	2710±60	998 (832) 795	885,5	Vilot III	888		Alonso <i>et al.</i> 2002, 231+239	
El Vilot de Montagut	Alcarràs	UE 1066					Vilot II	773		Alonso <i>et al.</i> 2002, 231+239	
El Vilot de Montagut	Alcarràs	UE 1067					Vilot II	773		Alonso <i>et al.</i> 2002, 231+239	
El Vilot de Montagut	Alcarràs	UE 1080	Beta-119128	2410±40	760 (409) 396	578	Vilot II	773		Alonso <i>et al.</i> 2002, 231+239	
El Vilot de Montagut	Alcarràs	UE 1081	Beta-119129	2520±50	801 (763, 676, 674) 410	650,5	Vilot II	773		Alonso <i>et al.</i> 2002, 231+239	
Els Vilars	Arbeca	UE 4247					Vilars II		550-425 a.n.e.	GP 2003, 233-274	
Roques del Sarró	Lleida	UE 1008							275-175 a.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Roques del Sarró	Lleida	UE 1009							275-175 a.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Roques del Sarró	Lleida	UE 1010							275-175 a.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Lleida (Int. 46)	Lleida	UE 2223							50-1 a.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Lleida (Int. 85)	Lleida	UE 1158							20-50 d.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Lleida (Int. 85)	Lleida	UE 1160							50-100 d.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Lleida (Int. 83)	Lleida	UE 1492							80-100 d.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Lleida (Int. 46)	Lleida	UE 2168							250-350 d.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Lleida (Int. 46)	Lleida	UE 2181							250-350 d.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Lleida (Int. 46)	Lleida	UE 2168							250-350 d.n.e.	Payà <i>et al.</i> 1996	
Lleida (Int. 47)	Lleida	UE 1216							900-950 d.n.e.	Lortente <i>et al.</i> 1997	
Lleida (Int. 70)	Lleida	UE 9259							950-1030 d.n.e.	Lortente <i>et al.</i> 1997	

Fig. 4. Taula de datacions radiocarbòniques i arqueològiques dels nivells amb material arqueobotànic analitzat procedent de diversos jaciments de la plana occidental catalana.
Mit.IMP: mitjana dels intervals de màxima probabilitat. Med.IMP: mediana dels intervals de màxima probabilitat.

que es tracta de datacions obtingudes a partir d'altres carbons, llavors o ossos que pertanyien a les mateixes unitats estratigràfiques que les mostres, o en el seu defecte a les fases corresponents.

El sistema de datació depèn de cada jaciment, i fins i tot de les diferents fases dins un mateix jaciment, a causa de l'ampli abast cronològic que tractem. Per als jaciments de Minferri, Masada de Ratón, El Vilot, Vincamet, Tozal de los Regallos o Els Vilars (en les seves fases de la primera edat del ferro), comptem amb datacions radiocarbòniques calibrades. Tanmateix, cal tenir en compte que en una bona part s'entra de ple en l'anomenada "catàstrofe del ferro", que no permet una calibració afinada.

En canvi, per als jaciments d'època ibèrica i posteriors com Els Vilars, Roques del Sarró, Tossal de les Tenalles, Margalef o la ciutat de Lleida, les datacions estratigràfiques convencionals, combinades amb el material arqueològic, proporcionen uns intervals cronològics molt més apurats que els radiocarbònics.

En el cas de les datacions radiocarbòniques les datacions utilitzades s'han calibrat mitjançant el programa CALIB REV 4.3 (STUIVER *et al.* 1998). De tota manera, cal ser conscient que la lectura de les dades calibrades no és més que una manera d'expressar estadísticament la informació i, per tant, les dates obtingudes no són més que una expressió numèrica d'aquesta lectura ja que la data calendàrica exacta és impossible d'obtenir. El sistema utilitzat pel Grup d'Investigació Prehistòrica de la UdL parteix de la base de la utilització de les dades calibrades a dues sigmes i la definició d'un valor central a partir dels intervals de màxima probabilitat (IMP). Quan la unitat estrati-gràfica a la qual pertany la mostra de carbons compta amb una datació C14, el valor central s'obté a partir de la mitjana dels IMP corresponents. Quan es dona el cas contrari (no hi ha datacions radiocarbòniques per a la unitat estratigràfica), la mostra es data pel context estratigràfic (fase) en el qual s'inclou, a partir de la mediana de tots els IMP de totes les unitats que pertanyen a aquesta fase (figura 4).

Pel que fa als carbons, som conscients que poden ser més antics del que la datació estratigràfica ens indica (quan la fusta va ser cremada i integrada al sediment arqueològic) i, per tant, la informació que se'n deriva de $\Delta^{13}\text{C}$ també pot ser-ho. De tota manera, aquestes consideracions no comporten un problema important ja que l'estudi de la tendència evolutiva de les condicions climàtiques es realitza a una escala temporal molt àmplia.

La $\Delta^{13}\text{C}$ del carboni en la fusta i la seva aplicació sobre carbons arqueològics: innovació metodològica i resultats paleoclimàtics

Aspectes metodològics

Els estudis paleoclimàtics analitzant isòtops estables en restes arqueològiques d'espècies forestals són escassos i, com hem esmentat, el nostre equip ha estat pioner a demostrar que la $\Delta^{13}\text{C}$ en carbons conté un senyal climàtic equivalent al de les fustes intactes, que ens ha permès establir models quantitius per

estimar la precipitació a partir d'aquestes anàlisis.

Es tracta d'una aproximació d'indubtable interès gràcies a diversos aspectes:

- La relativa freqüència d'aparició de carbons d'espècies forestals en els jaciments arqueològics;
- que es tracta d'espècies no conreades, i per tant poc sensibles a la major part dels desenvolupaments associats a l'activitat humana;
- el fet que els boscos de la península ibèrica han sofert poca modificació genètica provocada per l'acció antròpica, de manera que es poden inferir amb relativa facilitat les condicions climàtiques passades a partir de material actual;
- i, finalment, la possibilitat d'integrar les condicions climàtiques de creixement durant períodes més llargs que en el cas dels conreus herbacis (com ara els cereals) que corresponen només a uns mesos concrets de l'any entre la floració i la maduresa de la grana.

En el projecte de reconstrucció paleoclimàtica de la plana occidental catalana es va optar per treballar amb el pi blanc, *Pinus halepensis*, molt freqüent als jaciments arqueològics de la zona. En primer lloc es va dur a terme un extens treball de recollida de mostres actuals d'aquesta espècie, representatives del rang de condicions ecològiques en què l'espècie pot desenvolupar-se (FERRIO *et al.* 2003a, FERRIO-VOLTAS 2005). Sobre aquest conjunt de mostres es van dur a terme anàlisis de $\Delta^{13}\text{C}$ tant en fusta intacta com en fusta sotmesa a diferents tipus de tractaments, destinats a determinar el senyal isotòpic dels diferents components de la fusta. A partir d'aquests estudis s'ha arribat a la conclusió que els dos components principals de la fusta (cel·lulosa i lignina) presenten una forta relació entre la seva $\Delta^{13}\text{C}$ i les condicions climàtiques (FLORIT 2001; FERRIO-VOLTAS 2005). D'entre les relacions climàtiques trobades, destaca la correlació positiva entre $\Delta^{13}\text{C}$ i la precipitació total (P), coincidint amb els resultats obtinguts per Leavitt i Long (1988), Dupouey *et al.* (1993), Stewart *et al.* (1995) o Saurer *et al.* (1997), entre altres.

D'altra banda, diversos experiments per determinar les modificacions sofertes a causa de la carbonització ens han permès comprovar que la $\Delta^{13}\text{C}$ original està correlacionada amb la $\Delta^{13}\text{C}$ de les mostres tractades entre 300-500°C, però no a 200°C (FLORIT 2001, FERRIO *et al.*, enviat per a la seva publicació). L'estudi comparatiu al microscopi electrònic de les mostres arqueològiques va mostrar que aquestes van patir una carbonització equivalent als tractaments a partir de 300°C, caracteritzats per presentar fusionades les diferents capes de la paret cel·lular, així com un aspecte massiu, no fibrós (fig. 5). Paral·lelament, altres aproximacions per determinar la temperatura de formació dels carbons fòssils confirmen que la preservació de fustes en forma de carbons té lloc en aquest rang de temperatures (JONES-CHALONER 1991; GUO-BUSTIN 1998). Tenint en compte el contingut de carboni dels carbons, com a indicador del seu grau de carbonització, ha estat possible obtenir un mètode de correcció dels valors de $\Delta^{13}\text{C}$ suficientment robust com per no veure's afectat per les condicions de carbonització (FERRIO *et al.*, enviat per a la seva publicació).

Resultats

Un cop aplicades les correccions per l'efecte de la carbonització, vam poder estimar els valors de precipitació a partir dels models establerts per fusta intacta (FERRIO *et al.* 2003a; FERRIO-VOLTAS 2005). Els valors mitjans de precipitació anual inferits s'exposen a la taula de la figura 6. Els valors mostrats representen la mitjana d'un conjunt de restes amb cronologies iguals o similars, i procedents del mateix jaciment, agrupades per obtenir un valor més o menys representatiu.

La precipitació mitjana actual estimada a partir de les fustes carbonitzades experimentalment és de 346 mm, mentre que les arqueològiques varien entre els 360 mm de la ciutat de Lleida a la primera meitat del segle X d.n.e. i els 491 de la mateixa ciutat al segle I d.n.e. En el gràfic de la figura 7 s'observa un rang de variabilitat en la precipitació bastant gran, propi del clima mediterrani. Tanmateix, a partir de la corba de tendència general es documenta en primer lloc que els valors, encara que oscil·lants, són durant els gairebé dos mil·lennis estudiats, i quasi en tots els casos, superiors a la mitjana actual.

D'altra banda, dins l'evolució de la tendència es poden establir quatre períodes amb rangs de precipitació diferents:

- Període 1 (c. 1700-900 cal. ANE): la precipitació estimada es troba entre 410 i 468 mm anyals. Correspon a 64 mostres procedents de 4 jaciments: Minferri, Masada de Ratón, Vincamet i Tozal de los Regallos. Es correspon amb un moment entre dues fases d'aridificació detectades en l'estudi pol·línic de Jalut *et al.* (2000), situades entre el 4300 i el 3400 cal. BP i el 2850-1730 cal. BP.
- Període 2 (c. 900-175 a.n.e.): la precipitació estimada és inferior, entre 362 i 420 mm. Correspon a 34 mostres de 3 jaciments: El Vilot, Els Vilars i Roques del Sarró. El descens en la precipitació és clar, encara que a partir del 500 a.n.e. podria començar a remuntar. S'observa una correspondència amb la fase d'aridificació de Jalut *et al.* (2000) situada entre el 2850 i el 1730 cal. BP, que també inclouria el nostre període 3, però que en l'àmbit climàtic sembla coincidir sobretot amb el 2. També coincideix amb la tercera fase de Magny-Richard (1992), els quals, a partir dels fluxos hídrics d'Europa, estableixen unes grans línies de periodització. En aquest cas s'observa una reducció dels fluxos hídrics entre el 500/300 i el 100 a.n.e. Igualment, les anàlisis de $\Delta^{13}\text{C}$ de Vernet *et al.* (1996), fetes amb carbons arqueològics de *Quercus pubescens*, mostren un màxim de precipitació a principis del període subboreal seguit d'un descens que arriba al seu punt més baix cap al 3000 BP. A partir d'aproximadament el 2500 BP remunta novament la humitat fins al 1600 BP, quan inicia una tendència descendent fins a l'actualitat.
- Període 3 (c. 50 a.n.e. - 350 d.n.e.): la precipitació estimada es troba entre 451 i 491 mm anyals. Correspon a 25 mostres procedents de la ciutat de Lleida. La corba remunta fins arribar al segle I d.n.e. als seus nivells més alts. S'ha de tenir en compte que és, però, el període amb un nombre

més baix de mostres. Coincideix més clarament que l'anterior amb una fase de Magny-Richard (1992) de forta activitat fluvial a finals del segle I a.n.e. i fins al segle II d.n.e. A partir d'aleshores i fins al segle V d.n.e. constaten una reducció dels fluxos hídrics, com indicaria també la tendència de la nostra corba de precipitació en el moment final del període.

- Període 4 (c. 900 d.n.e. - actualitat): la precipitació estimada es troba entre 360 i 469. El nombre de mostres és de 59, totes també de la ciutat de Lleida. La corba marca clarament una tendència progressiva cap a unes condicions de pluviometria més baixa fins arribar als nostres dies. Tanmateix, podria haver-hi un nou pic de precipitació durant el segle XVIII, la qual cosa concordaria amb la documentació històrica, però malauradament no disposem de mostres suficients. A l'estudi paleoecològic del llac d'Estanyà (Benabarre) (RIERA *et al.* 2004) s'observa entre el 1075 i el 1220 d.n.e. una forta pujada del nivell del llac (episodi V), que podria tenir alguna relació amb els pics de precipitació documentats al segle XI d.n.e. a Lleida. Malgrat tot, cal tenir en compte la situació prepirinenca d'aquest llac, que fa que estigui sotmès a condicionants climàtics diferents dels de la plana.

La $\Delta^{13}\text{C}$ en els cereals: implicacions paleoecològiques i paleoeconòmiques

Aspectes metodològics

Com hem dit anteriorment, la $\Delta^{13}\text{C}$ de les restes arqueobotàniques de llavors i fruits permet inferir l'aigua rebuda pels conreus antics durant el seu creixement (ARAUS-BUXÓ 1993; ARAUS *et al.* 1997 a i b; ARAUS *et al.* 1999 a). A la plana occidental catalana aquesta tècnica va ser aplicada pel nostre equip a un conjunt de granes carbonitzades de cereals (VOLTAS *et al.* 2000).

Com en el cas de les fustes, per obtenir aquest tipus d'inferències és necessari en primer lloc elaborar un patró a partir de mostres de cereals actuals de la zona objecte d'estudi. Cal tenir en compte, però, que existeixen alguns riscos en utilitzar les relacions entre la vegetació i el clima actuals per reconstruir l'estatus hídric del passat a partir de les granes arqueològiques (ARAUS *et al.* 1997, 114-115): un d'aquests riscos seria el possible efecte del canvi durant aquests mil·lennis de la pressió parcial del CO_2 sobre l'eficiència en l'ús de l'aigua en cereals i, per tant, sobre la $\Delta^{13}\text{C}$ del gra; i un altre les possibles diferències en la fenologia de les espècies analitzades —les varietats antigues podrien haver florit més tard (encara que la duració del creixement del gra podria no haver canviat o fins i tot s'hauria escurçat) mentre que les modernes serien més precoces. Aquest darrer factor podria explicar, si més no parcialment, el fet que les estimacions pluvio-mètriques en època actual obtingudes a partir de granes de cereals no difereixen tant de les d'èpoques passades com en el cas dels carbons de pi blanc analitzats.

D'altra banda, la carbonització pot afectar els valors de $\Delta^{13}\text{C}$ de les granes, però només molt lleugerament (ARAUS-BUXÓ 1993, 118-122), de manera que no cal

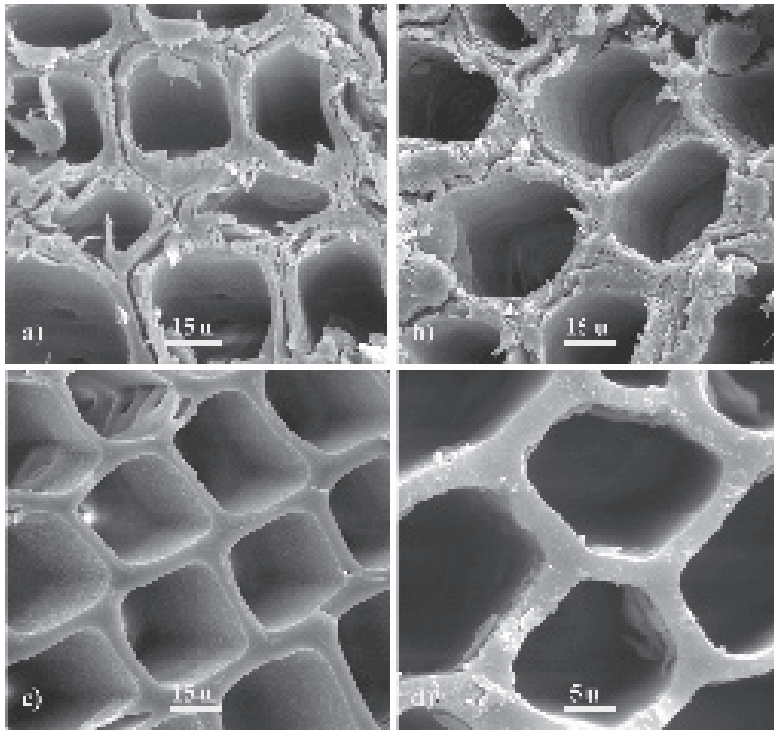


Fig. 5. Imatges preses amb microscopi electrònic de rastreig de fustes actuals intactes i carbonitzades a diverses temperatures, i d'un carbó arqueològic: a) mostra actual intacta; b) mostra actual carbonitzada a 200°C; c) mostra actual carbonitzada a 300°C; d) mostra arqueològica (El Vilot de Montagut) (escala en micres).

Jaciment	UE	Datació	Mostres	Precipitació	Prec. antiga	Precipitació
				antiga estimada	estimada S.E.	actual
1 Minferri	UE 2075	1673 cal. ANE	4	410	63	389
2 Masada de Ratón	Nivell Id	1261,5 cal. ANE	11	468	27	350
3 Vincamet	UE 1121-1	1098 cal. ANE	8	439	19	350
4 Masada de Ratón	UE 1121-2	1098 cal. ANE	5	432	41	350
5 Masada de Ratón	Nivell Ia	1061,5 cal. ANE	8	425	9	350
6 Tozal Regallos	UE 1201	896 cal. ANE	28	427	21	359
7 El Vilot de Montagut	UE 7003	896 cal. ANE	8	368	33	355
8 El Vilot de Montagut	UE 1202	896 cal. ANE	9	392	25	355
9 Els Vilars	UE 7004	896 cal. ANE	8	420	20	403
10 Roques del Sarró	UE 1046-1	888 cal. ANE	9	362	55	361
11 Lleida (Int. 46)	UE 1046-2	888 cal. ANE	9	474	22	361
12 Lleida (Int. 85)	UE 1066	773 cal. ANE	6	491	67	361
13 Lleida (Int. 46)	UE 1067	773 cal. ANE	10	451	12	361
14 Lleida (Int. 47)	UE 1080	773 cal. ANE	9	360	46	361
15 Lleida (Int. 70)	UE 1081	773 cal. ANE	6	469	44	361
16 Lleida (Int. 47)	UE 4247	550-425 a.n.e.	10	436	19	361
17 Lleida (Int. 30)	UE 1008	275-175 a.n.e.	6	328	50	361
18 Lleida (Int. 30)	UE 1009	275-175 a.n.e.	2	415	18	361
19 Lleida (Int. 123)	UE 1010	275-175 a.n.e.	3	388	7	361
20 Lleida (Int. 19)	UE 2223	50-1 a.n.e.	5	461	35	361

Fig. 6. Precipitació estimada, error estàndard de la mitjana i precipitació actual (a partir de les dades meteorològiques), per a cada mostra arqueològica, a partir de la discriminació isotòpica del carboni ($\Delta^{13}\text{C}$).

una correcció com en el cas de les fustes.

La precipitació acumulada durant el creixement del gra és estimada, doncs, a partir de la comparació amb les dades actuals. En el present estudi s'han utilitzat les relacions obtingudes empíricament entre la $\Delta^{13}\text{C}$ de granes madures i la pluviometria total des de la floració fins a la maduresa de dues espècies de cereals conreades actualment i molt comunes en el passat: l'ordi vestit, *Hordeum vulgare* ($\Delta^{13}\text{C}=9,99+3,5 \log(\text{mm aigua})$, $r^2=0,73$; ARAUS *et al.* 1997b), i el blat dur, *Triticum durum* ($\Delta^{13}\text{C}=6,95+4,85 \log(\text{mm aigua})$, $r^2=0,82$; ARAUS *et al.* 1999a). La composició isotòpica de l'aire utilitzada per calcular els valors $\Delta^{13}\text{C}$ de les mostres arqueològiques ha estat inferida a partir de Marino *et al.* (1992).

A partir d'un treball recent dut a terme per investigadors de la Universitat de Lleida, però, s'ha pogut demostrar que, efectivament, els cereals conreats amb mètodes menys agressius de sembra i treball del sòl (potencialment més semblants als emprats en l'antiguitat) tenen uns valors de $\Delta^{13}\text{C}$ superiors, en les mateixes condicions climàtiques, que els obtinguts amb els tractaments habituals (VOLTAS-CANTERO-MARTÍNEZ, comunicació personal). A partir d'aquestes dades, hem pogut refinar els models de precipitació originals (desenvolupats a partir de material conreat amb mètodes moderns) per tal d'adequar-los al material arqueològic.

Finalment, per la comparació amb la $\Delta^{13}\text{C}$ actual dels cereals de la plana occidental catalana es van dur a terme diverses anàlisis de granes d'ordi vestit i de blat dur, ambdós amb una mitjana de deu proves cadascun, que corresponien a les collites dels anys 1990-1998, procedents de les poblacions de Gimènells, Torregrossa i Artesa de Segre.

Resultats

Les dades obtingudes mostren com els valors de $\Delta^{13}\text{C}$ actuals són similars als inferits pels jaciments arqueològics, excepte en alguns casos, sense que s'observi una diferència tan marcada com la documentada amb els carbons (fig. 8).

S'ha comparat igualment l'evolució de la disponibilitat d'aigua durant el creixement del gra amb la precipitació actual obtinguda en estacions meteorològiques properes als jaciments arqueològics estudiats (figura 8). La disponibilitat d'aigua, des de la floració fins a la maduresa del gra, ha estat calculada a partir de les equacions d'Araus *et al.* 1999a, pel blat dur, i d'Araus *et al.* 1997b per l'ordi. La quantitat d'aigua oscil·la entre 39 mm i 82 mm en el cas del blat nu i entre 39 mm i 111 mm en el de l'ordi. Com era d'esperar, l'ordi mostra globalment una millor disponibilitat d'aigua, ja que té una fenologia més precoç que el blat nu (floreix més aviat).

De tota manera, si es contempla la tendència evolutiva general, tant per a l'ordi com per al blat, es pot constatar un cert paral·lelisme amb la corba proporcionada pels carbons de fusta (figura 8). És remarcable sobretot la incidència d'una etapa de menys disponibilitat hídrica, entorn de 2800-2300 BP, coincidint aproximadament amb el període 2 observat amb la fusta de pi, entorn de 900 i 175 a.n.e. La consecució del projecte permetrà equiparar el nombre

de mostres de granes amb el de carbons, així com treballar en tots els casos amb datacions calibrades, per poder comparar de manera més fidedigna les diferents tendències resultants.

D'altra banda, i tal com caldria esperar per la seva situació geogràfica, els valors de $\Delta^{13}\text{C}$ obtinguts en altres indrets de Catalunya amb cronologies d'edat del bronze, edat del ferro i edat mitjana, són en general més alts que els de la plana occidental, sobretot per al blat, encara que per a l'ordi coincideixen en època medieval (ARAUS-BUXÓ 1993, 123 i ss.). Mostren, a més, juntament amb els documentats al sud-est de la península ibèrica, un progressiu, encara que suau, decreixement dels valors de $\Delta^{13}\text{C}$ de les restes de cereals entre el 7000 BP i l'edat del ferro (ARAUS *et al.* 1997b, 113). Durant aquest període, doncs, predominaria una tendència cap a l'aridesa que s'hauria detectat també en l'anàlisi de plantes silvestres, encara que cronològicament posterior (PEÑUELAS - AZCÓN-BIETO 1992). A la resta de Catalunya la precipitació durant els mesos d'abril-juny podria haver decrescut prop del 12% (ARAUS *et al.* 1997b, 116).

Altres aspectes es poden inferir a partir de la $\Delta^{13}\text{C}$, com ara la irrigació o el rendiment del cereal. Quant a la primera podem dir que a partir de les dades obtingudes a la plana occidental no es pot afirmar que els cereals estudiats haguessin estat irrigats, malgrat que en jaciments com Tossal de les Tenalles, Margalef i Roques del Sarró —tots tres amb cronologia de finals del segle III i inicis del II a.n.e.—, es troben al límit dels valors considerats com indicadors d'aquesta pràctica (ARAUS *et al.* 1997b).

Quant als rendiments estimats per a la totalitat del període estudiat (mitjana \pm SE) són $0,88 \pm 0,18$ i $0,87 \pm 0,15$ t/ha per al blat nu i l'ordi, respectivament (figura 9), mentre que en l'actualitat els rendiments per a la regió són més del triple, $3,20 \pm 0,64$ i $3,09 \pm 0,58$ t/ha per al blat dur i l'ordi en conreu de secà (VOLTAS *et al.* 2000). Anteriorment aproximacions de tipus teòric sobre els rendiments del blat nu per a l'època protohistòrica, estimats a partir de diverses fonts etnogràfiques i històriques, donaven rendiments similars, encara que una mica inferiors (ALONSO 1999, 279). Aquests resultats suggereixen que els rendiments de l'ordi vestit i el blat nu s'haurien mantingut relativament estancats durant almenys els darrers quatre mil·lennis, fins a l'inici de les pràctiques de selecció i millora genètica de principis del segle XX.

Aproximació paleoclimàtica de la plana occidental catalana els darrers 4.000 anys

Els estudis sobre l'evolució climàtica planetària durant l'holocè són molt extensos. Fer una síntesi dels seus resultats és extremadament difícil ja que aquests provenen de disciplines científiques molt variades, que normalment exploten fonts concretes d'informació molt puntuals en l'espai i/o en el temps i que proporcionen un important nombre de dades disperses, que en ocasions són fins i tot contradictòries.

J. Olcina i J. Martín-Vide (1999, 18-19), tot i fer un balanç sintètic del coneixement existent fins al

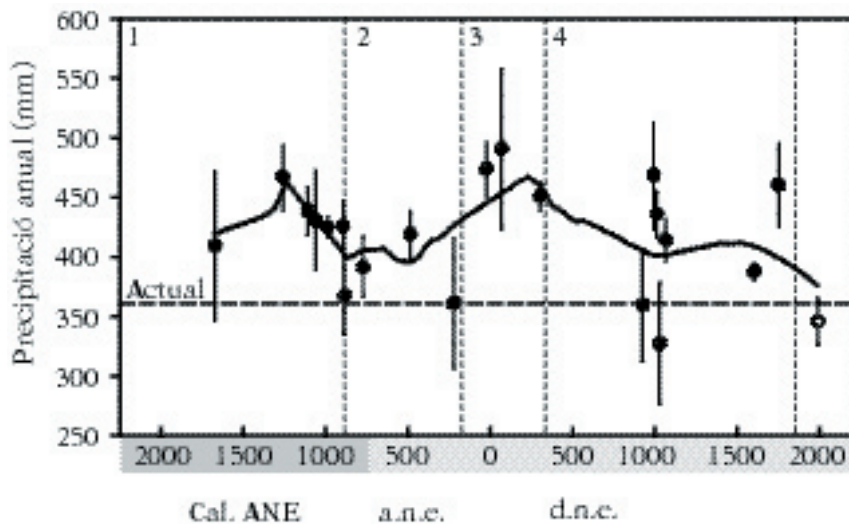


Fig. 7. Evolució de la precipitació a la plana occidental catalana durant els darrers 4.000 anys, estimada a partir de la discriminació isotòpica del carboni ($\Delta^{13}\text{C}$) en carbons de *Pinus halepensis*. A més dels carbons recuperats en jaciments arqueològics, s'inclouen fustes actuals de la zona, carbonitzades experimentalment (cercle blanc). Les barres d'error vertical indiquen l'error estàndard de la mitjana. La línia discontinua horitzontal indica el valor mitjà actual de precipitació (a partir de dades meteorològiques) per als jaciments estudiats i les línies discontinues verticals els límits cronològics aproximats dels períodes establerts (adaptada de FERRIO *et al.*, enviat per a la seva publicació).

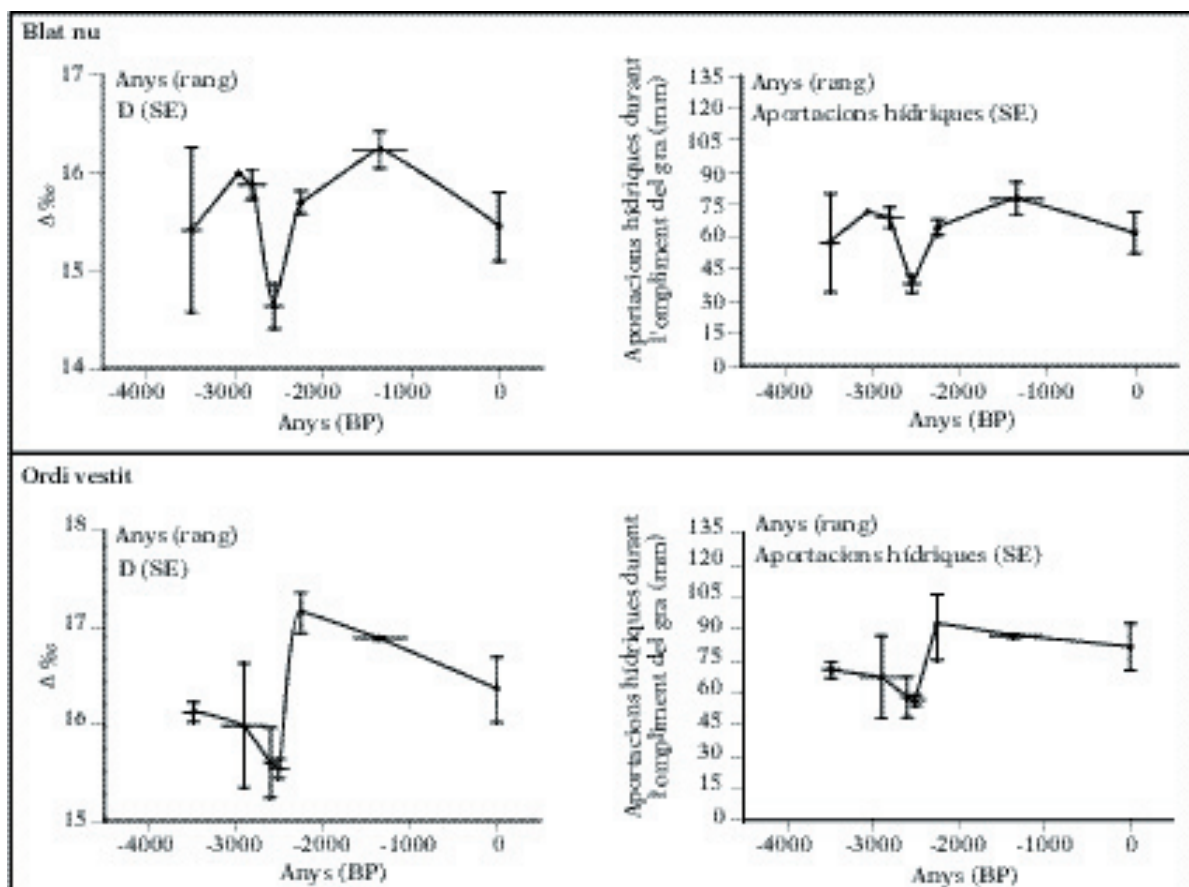


Fig. 8. Evolució de la discriminació isotòpica del carboni ($\Delta^{13}\text{C}$) i de les aportacions hídriques durant el desenvolupament de les granes de blat nu (*Triticum aestivum/durum*) i ordi vestit (*Hordeum vulgare*), mesos d'abril a juny. A més dels arqueològics, s'inclouen els valors obtinguts en granes actuals de *Triticum durum* i *Hordeum vulgare*, procedents de la zona d'estudi. Les barres d'error vertical indiquen l'error estàndard de la mitjana.

moment resumeixen les diverses fluctuacions climàtiques succeïdes durant aquest període en les següents fases: etapes inicials de l'holocè, pulsacions fredes intra-holocenes, petit òptim climàtic, petita edat del gel i cicle climàtic actual. Pel que fa a l'espai temporal que inclou el nostre estudi ens interessen les quatre darreres:

- Pulsacions fredes intraholocenes (2300-250 a.n.e.): caracteritzades per un refredament, les seves repercussions més notables serien la revitalització de les glaceres alpines, fred i un fort increment de les precipitacions en latituds boreals.
- Petit òptim climàtic (700-1200 d.n.e.): el clima torna a ser càlid i humit, s'observa un desplaçament cap al nord del casquet polar àrtic i una expansió cap al nord del conreu de la vinya.
- Petita edat del gel (1550-1850 d.n.e.): es documenten descensos tèrmics entre 1,5 i 2°C, augmenta la nivositat, els estius són més curts i humits, a la península ibèrica persisteixen episodis meteorològics extrems (sequeres i inundacions), auge del comerç de la neu.
- Cicle climàtic actual (1850-actualitat): s'inicia l'etapa estadística en la utilització de dades analítiques, l'anàlisi dels registres tèrmics permet distingir tres etapes (1880-1950, escalfament; 1950-1975, refredament; a partir de 1975, escalfament que es podria deure a l'efecte hivernacle per causa antròpica).

La informació de què es disposa sobre la plana occidental catalana, i el nord-est de la península ibèrica en general, per al segon i primer mil·lenni a.n.e.—immersos en la primera etapa— prové sobretot d'estudis geomorfològics, paleobotànics i arqueobotànics, que no sempre coincideixen amb les dades proporcionades per la $\Delta^{13}\text{C}$.

Per exemple, les investigacions geomorfològiques sobre les variacions climàtiques de l'holocè a la depressió de l'Ebre reflecteixen canvis que es valoren en fluctuacions de temperatura de $\pm 2^\circ\text{C}$ i de precipitació de $\pm 10\text{-}20\%$ respecte als valors actuals. Segons els autors de l'estudi, no produeixen grans canvis en el clima ni en la vegetació però en regions semiàrides com la nostra poden afectar la intensitat de molts processos geomòrfics (GUTIÉRREZ-PEÑA 1992, 117).

Aquests treballs relacionen una etapa generalitzada d'acumulacions de vessant a la Serralada Ibèrica i la depressió de l'Ebre, per causes climàtiques i data-tada entre el bronze mitjà i la primera edat del ferro, amb un clima fred (BURILLO *et al.* 1986, 40-41; GUTIÉRREZ-PEÑA 1992). Relacionen aquestes etapes d'acumulació i incisió detectades geomorfològicament, amb el registre paleoclimàtic holocè establert per Lamb (1977) i Bintliff (1982), que a finals del subboreal reconeixen una etapa freda i humida en l'àmbit mediterrani, preludi del que Gribbin i Lamb (1978) van denominar "època freda de l'edat del ferro" (900-300 a.n.e.) als inicis del subatlàntic. Segons aquests autors el pas del subboreal al subatlàntic hauria estat un període d'augment de la precipitació i/o descens de l'evaporació.

Segons els mateixos autors (GUTIÉRREZ-PEÑA 1992, 119) la tendència cap a un clima més fred i humit a l'edat del ferro hauria suposat un augment progressiu del percentatge de cobertura vegetal.

Els estudis fluvials constaten igualment aquesta

etapa ben marcada per una forta activitat hidrològica i per una acumulació d'al·luvions grollers en el domini dels rius de diverses zones europees i mediterrànies (entre les quals es troba l'Aragó), i que s'acabaria segons les regions entre el 500 i el 300/250 a.n.e. (MAGNY-RICHARD 1992, 59-60).

D'altra banda, la utilització del ^{14}C residual per inferir potencialitats agrotèrmiques en la zona de la Celtibèria, detecta, amb molta precisió cronològica petites oscil·lacions tèrmiques entre el segle VIII i el segle I a.n.e. (Ibáñez 1999). Es documenta un moment fred, iniciat cap al 3300 cal. BP que culmina a mitjan segle VIII a.n.e., seguit d'una gradual recuperació tèrmica entre el segle VII i la segona meitat del IV a.n.e., durant la qual s'observa un brusc refredament, que tornarà a una estabilitat relativa entre el segle III a.n.e. i el segle II d.n.e., amb un decidit canvi cap a un clima més càlid. Malauradament, aquest model no contempla el règim d'humitat.

Altres aproximacions, com l'anàlisi del ^{18}O , també documenten un refredament climàtic de la meitat sud de la península ibèrica a mitjan primer mil·lenni a.n.e. (LÓPEZ-ARAGUAS 1986).

De tota manera aquest refredament no té perquè anar associat a un augment de la humitat. Per exemple, l'estudi palinològic de la torbera cantàbrica de Pico Ano detecta una baixa tèrmica entre el 2800 BP i el 1900 BP, acompanyada d'una baixa pluviomètrica (SALAS 1993, 180-183).

La fase següent (MAGNY-RICHARD 1992, 59-60) es caracteritzaria per una reducció dels fluxos hídrics en el domini fluvial i el cessament de la sedimentació en els cursos d'aigua, on reprèn la incisió, tal com succeeix a la península ibèrica, i s'estén fins al segle primer de la nostra era. Tanmateix, rius mediterranis com el Xúquer semblen reprendre la seva activitat durant els dos segles darrers abans de la nostra era.

Per a Gutiérrez i Peña (1992, 120) un progressiu canvi climàtic cap a condicions més seques i càlides d'etapes iberoromanes suposaria geomorfològicament situacions contràries a les del període anterior: i el percentatge de cobertura vegetal disminuiria progressivament.

Amb relació, doncs, a la vegetació, alguns investigadors consideren que des d'aproximadament el 6000 BP aquesta tradueix sobretot l'acceleració i la irreversibilitat dels processos d'antropització (VERNET *et al.* 1987; DUPRÉ - RENAULT-MIKOVSKY 1990; VERNET 1990, 673). En canvi, altres (BURJACHS-RIERA 1996) observen en la Mediterrània occidental una tendència climàtica general cap a un increment de l'aridesa a partir del 8500 BP, però amb unes fases de disminució de les precipitacions i d'aridesa detectades entre 7500-7000 i 4000-3000 BP, i que interpreten com a reflexos de canvis climàtics, ja que consideren que la pressió antròpica exercida pels primers ramaders i agricultors tindria una incidència puntual i només acceleraria o intensificaria els efectes del canvi climàtic.

El conjunt de canvis vegetals a la façana mediterrània ibèrica entre el 4000 i el 3000 BP, indicaria segons els autors una reducció de les precipitacions totals, així com probablement una distribució equi-

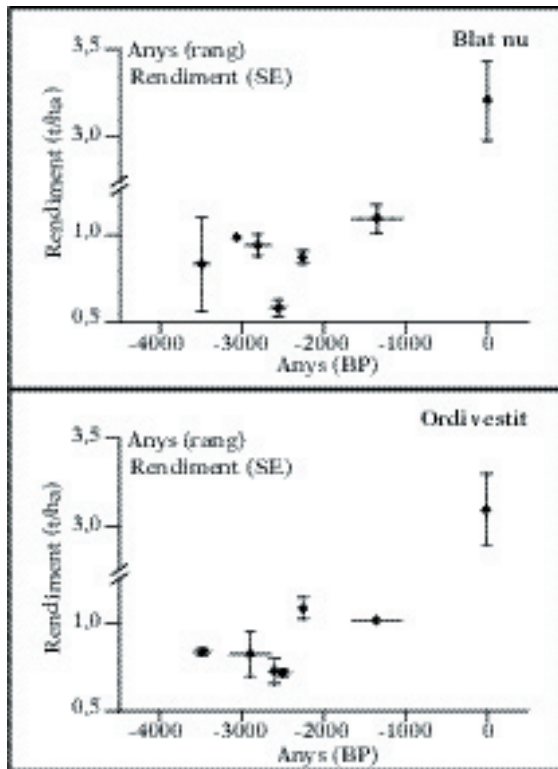


Fig. 9. Rendiments estimats a partir de la discriminació isotòpica del carboni ($\Delta^{13}\text{C}$), pel blat nu i l'ordi vestit. A més dels arqueològics, s'inclouen els valors obtinguts en grans actuals de *Triticum durum* i *Hordeum vulgare*, conreades en condicions de secà a la zona d'estudi. Les barres d'error vertical indiquen l'error estàndard de la mitjana.

nocional més acusada, la qual cosa provocaria una ampliació dels mesos amb dèficit hídric.

Les dades sobre la vegetació d'aquests períodes a la plana occidental catalana provenen principalment de les anàlisis pol·líniques i sobretot antracològiques. Les primeres, bàsicament del jaciment d'El Vilot de Montagut (ALONSO *et al.* 2002, 174-187) mostren com, juntament amb altres indrets de Catalunya i de la península ibèrica, vers el 3000 BP es documenta un canvi climàtic cap a una més gran aridesa, conseqüència d'una major estacionalitat de les precipitacions, i, per tant, d'un període de sequera estival més llarg i intens (RIERA 1994). Per exemple els tàxons arboris que requereixen una major disponibilitat hídrica, com els roures, es redueixen progressivament, amb una disminució, en general, de les comunitats arbòries i arbustives. De fet, un dels pics més baixos donat per la $\Delta^{13}\text{C}$ (368 mm) correspon al jaciment del Vilot.

En aquest jaciment també s'observa una extensió progressiva del bosc de ribera, entre el 1412 i el 874 cal. ANE, la qual cosa podria semblar en principi contradictori amb un procés d'aridificació. Tanmateix, una desforestació antròpica i un règim més irregular de pluviositat haurien segurament produït una erosió més important dels sòls, la qual cosa hauria provocat una extensió de les zones al·luvials on es localitzarien aquestes comunitats vegetals (ALONSO *et al.* 2002, 187).

Quant a l'antracologia, amb més estudis de detall però també amb més condicionants d'interpretació

paleoecològica, que detallarem més endavant, parteix del principi que la vegetació climàtica de la plana no és uniforme en el territori (ROS 1993; 1995 a i b; 1997; EQUIP SARRÓ 2000). Aquest fet també es pot inferir durant la prehistòria ja que es pot subdividir l'àrea en dues subzones: les planes més interiors que corresponen a les conques baixes del Segre i el Cinca, i la zona més oriental de les planes de l'Urgell.

Globalment, segons les dades obtingudes per M. T. Ros, a les valls baixes del Segre i del Cinca, durant el segon mil·lenni es podria dir que les característiques del clima condicionaven l'existència de veritables boscos, a part d'una incidència antròpica més o menys acusada. La majoria de les espècies identificades antracològicament (ROS 1997) a la vall del Cinca corresponen a un tipus de vegetació escleròfil·la, perennifòlia, hídricament molt conservadora, sovint espinosa, de fulles petites, etc., en definitiva, ben adaptades a un clima sec, que formaria bosquines sobre uns sòls més rics que els actuals. D'altra banda, la presència de llentiscle ens informaria que ni el fred ni la calor continental eren gaire acusats (ROS 1993).

Els jaciments situats a la riba del Segre presentarien una composició florística similar a la de la vall del Cinca, però amb unes condicions climàtiques no tan seques, amb indrets idonis per al desenvolupament de boscos caducifolis (ROS 1997). Tanmateix, en jaciments com Genó el paisatge es reflecteix molt antropitzat, amb una escassa cobertura arbòria i alts percentatges de pol·len d'herbàcies (BURJACHS 1998).

A principis del primer mil·lenni els mateixos estudis detecten a la zona dels Monegros un espectre vegetal bastant pobre, amb un estrat arborel molt condicionat per la continentalitat i l'aridesa del clima, amb plantes típiques de medis àrids i sense altres, com ara el llentiscle, que abundava en els assentaments de cronologia anterior (ROS 1995b).

Contràriament, a la vall del Segre, en època ibèrica plena les espècies trobades a Roques del Sarró (EQUIP SARRÓ 2000, 132-136) mostren l'existència d'un paisatge variat, amb zones forestals a base d'alzines, roures i pins que es combinaven amb zones de vegetació de tipus arbustiu, sobretot en llocs més secs i antropitzats. Es detecta un paisatge ben diferent a l'actual i el fet de trobar espècies de tipus submediterrani indicaria unes condicions ambientals no tan extremes, amb un grau d'humitat més elevat i uns sòls no tan erosionats.

Quant a la zona més oriental, estudiada principalment al jaciment dels Vilars, també dona un paisatge amb clapes extenses de bosc mixt d'alzines i roures, i pins, que posteriorment —a causa sobretot d'una activitat agrícola secular— van ser substituïdes per comunitats arbustives, bosquines esclarissades amb estrat arborel de pi blanc, i, en darrer terme, per un mantell vegetal magre i discontinu, amb erms i clapes de sòl nu (ROS 1995a; 1997).

Tot i aquests resultats, cal tenir en compte que l'aproximació paleoecològica realitzada a partir de l'anàlisi antracològica presenta certs problemes de tipus tafonòmic, ja que les fustes utilitzades pels grups humans representen només una part de les espècies llenyoses existents en l'entorn. Els inventaris florístics obtinguts són sempre parcials, i sovint es revelen insuficients per a realitzar una reconstrucció paleo-ambiental. A més, la composició taxonòmica dels conjunts estudiats i la quantitat de restes que els

formen no depenen de processos ambientals, sinó que són els processos relacionats amb l'activitat humana els que han conduït a la formació dels conjunts arqueològics (ALONSO *et al.* 2002, 180).

En tots el casos, però, la vegetació documentada indica uns nivells d'humitat més elevats que els actuals, fet ben demostrat per la $\Delta^{13}\text{C}$.

En època romana, en el conjunt d'Europa, entre finals del segle I a.n.e i fins a la segona meitat del segle II d.n.e, es constata un nou moment de forta activitat hídrica (MAGNY-RICHARD 1992, 59-60), que en aquest cas coincidiria clarament amb les dades isotòpiques del nostre estudi.

No succeeix el mateix, però, amb la fase anterior, sobretot quant a les dades geomorfològiques, ja que, com hem exposat més amunt, els resultats de la $\Delta^{13}\text{C}$, tant al sud de França (VERNET *et al.* 1996) com a la plana occidental catalana, i els estudis palinològics recents (JALUT *et al.* 2000), documenten per a aquest període, aproximadament entre el 1000/900 i el 300/200 cal. ANE una fase seca de més baixa precipitació, amb una tendència a la recuperació a partir del 500. El darrer període d'aridificació documentat per Jalut *et al.* succeeix entre el 900 cal. ANE i el 220 cal. DNE, i el moment de mínima precipitació detectat per Vernet *et al.* es troba cap al 3000 BP.

En zones més allunyades, com l'Atlas marroquí, a principis del primer mil·lenni s'observen també episodis que són interpretats com disminucions de la precipitació hivernal, per exemple un bruscat període de regressió del llac Tigalmamine entre el 2900 i el 2750 BP, que es repetiria entre el 1950 i el 1750 BP (LAMB *et al.* 1995, 136-137).

En vista de la multiplicitat d'informació existent sobre aquests dos mil·lennis anteriors a la nostra era, es fa necessària una actualització i contrastació de totes les dades de les quals es disposa, així com la uniformització de les cronologies utilitzades, la qual cosa ens podria ajudar a dilucidar si la disparitat en alguns dels resultats procedents de les diverses disciplines respon a microclimes específics de les zones estudiades o si es corregeix, de manera que augmenten les convergències entre elles.

Avançant en el temps, segons alguns autors (GARCIA 1996, 51-52), a partir del segle III a.n.e. s'iniciaria una etapa, que es prolongaria a l'Europa occidental durant tot el període romà, en la qual el clima devia ser més càlid i humit. Aquest fet hauria permès una expansió de certs conreus cap a regions a les quals no havien arribat mai a prosperar per raons climàtiques, o va provocar canvis naturals de paisatge, tal com ho recullen alguns autors llatins (Columela, *De re rustica*, I.5 o Plini, *Història natural*, XVI, 15).

Els dos pics de precipitació més elevats de la nostra sèrie, 474 i 491 mm, corresponen als segles I a.n.e. i I d.n.e., respectivament. A tall d'anècdota podem assenyalar que el primer coincideix amb l'episodi de Cèsar a les contrades lleidatanes, citat a l'inici del nostre treball (unitat estratigràfica de la INT-46 de Lleida datada del 50-1 a.n.e.).

De la mateixa manera, a partir de les dades palinològiques que coneixem a la ciutat de Lleida pels segles I i II d.n.e., encara que inèdites, s'infereix un clima relativament humit, amb un molt baix nivell de *Chenopodiaceae*, corroborat pels índexs climàtics

basats en coeficients entre tàxons herbacis de medis secs (RIERA 2001).

A la franja mediterrània la geoarqueologia ha constatat violentes riuades del riu Túria a València durant els segles I-II d.n.e. (CARMONA *et al.* 1985, 868) i a Europa a partir del segle II d.n.e. i fins al segle V s'observa una nova tendència a la reducció dels fluxos hídrics (MAGNY-RICHARD 1992, 59-60).

A la plana occidental catalana no tenim encara dades datades entre el 350 i el 900 d.n.e., moment en el qual s'inicia l'anomenat "òptim climàtic medieval" (700/900-1200/1300 d.n.e.), durant el qual el clima és càlid i humit. A aquest "òptim" se li atribueixen fenòmens com la colonització de Groenlàndia pels vikings, al segle X, o la progressió de la vinya cap al nord d'Europa fins al segle XIII. Dades aquestes últimes que són contestades per alguns autors ja que consideren que no haurien tingut relació amb canvis climàtics, sinó amb condicionants econòmics (LE ROY LADURIE 1991, 36).

Els nostres resultats per als segles X i XI mostren una àmplia variabilitat de la precipitació, que oscil·la entre els 328 mm (precipitació menor que l'actual), en 950-1100 d.n.e., i els 469 mm, també dels mateixos anys 950-1030 d.n.e. Les dades palinològiques obtingudes a la ciutat de Lleida indiquen unes condicions climàtiques més àrides que les inferides per a principis de la nostra era, així com una gran pertorbació del medi, condicions d'aridificació que continuaran durant els segles XII-XIII (RIERA 2001).

Durant el segle XI s'han documentat també violentes avingudes del riu Xúquer (BUTZER *et al.* 1983, 229) i del riu Túria al seu pas per València, on eren devastadores a causa del fort pendent del pla d'inundació (CARMONA *et al.* 1985, 868). Segons els autors aquests fets reflectirien una anomalia climàtica.

Així mateix, l'estudi paleoecològic del llac d'Estanyà (Benavarrí) detecta un augment en el seu nivell entre el 1075 i el 1220 (episodi VI) (RIERA *et al.* 2004). L'anàlisi pol·línica del període següent (episodi V), datat entre el 1220 i el 1360 d.n.e. documenta una expansió notable del conreu de l'olivera al Prepirineu. Aquest fet, corroborat en diversos punts de la depressió de l'Ebre i de Catalunya, podria haver estat induït per unes condicions climàtiques més calentes i seques que correspondrien a aquest òptim climàtic medieval (RIERA *et al.* 2004, 317).

Respecte a la petita edat del gel (c. 1550-1850 d.n.e.), a la península ibèrica les dades històriques i les dades dendroclimatològiques no sempre mostren situacions coincidents, encara que en general confirmen uns hiverns molt freds i secs amb estius càlids, però més curts que els actuals (OLCINA - MARTÍN-VIDE 1999, 21).

Aquesta qualificació no seria correcta per a alguns autors com E. Le Roy Ladurie (1991, 326), el qual considera que aquesta petita fluctuació glacial no és l'única, ni tan sols la més forta que s'hauria registrat en època històrica, sinó que és l'abundància de dades, d'una banda, i la bona conservació de les morrenes més recents de les glaceres alpines, d'altra, les que fan que pugui ser descrita i jutjada amb més precisió. No significaria, de fet, més que la repetició de períodes anàlegs a altres produïts en diverses ocasions en el transcurs del període històric i posa

com a exemple el primer mil·lenni a.n.e.

Tanmateix, la major part dels investigadors coincideixen a fer encabir les seves dades en aquesta denominació. Per exemple, l'agrupació de tres oscil·lacions en les avingudes de diversos rius de la costa mediterrània peninsular des dels primers anys del segle XIV a mitjan segle XIX (BARRIENDOS-MARTÍN-VIDE 1998, 484). O a Estanyà, on entre el 1360 i el 1580 cal. DNE (episodi IV) es documenta el nivell màxim d'aigua del llac, més de 4 metres per sobre de l'actual, enregistrant també altres llacs ibèrics un alts nivells durant aquest període (RIERA *et al.* 2004, 318). Segons els seus investigadors, en aquest llac la petita edat del gel es caracteritzaria per una variabilitat climàtica considerable, com es documenta en altres regions de la península ibèrica (RIERA *et al.* 2004, 321).

Un exemple d'aquesta variabilitat serien els canvis d'oscil·lacions en les riuades a la costa mediterrània ibèrica: tres períodes de baixa freqüència, aproximadament entre 1350-1400, entre 1500-1565 i entre 1880-1900; i tres períodes amb anomalies positives, entre 1570-1630, entre 1760-1800 i entre 1830-1870 (BA-RIIENDOS - MARTÍN-VIDE 1998, 480-483; MARTÍN-VIDE - BARRIENDOS 2000, 60).

La dendroclimatologia, per la seva part, documenta en l'estudi de Pallaruelo de Monegros (Osca), un descens tèrmic a mitjan segle XV i un altre encara més intens a principis del XVI (CREUS *et al.* 1996, 14-15). Tant la sèrie de temperatura com de precipitació mostren períodes de gran variabilitat climàtica, molt especialment durant els segles XV, XVI i primera meitat del XVII, coincidint amb els segles de la petita edat del gel, que contrasten amb altres períodes molt més estables, durant la segona meitat del segle XVII, segle XVIII i segle XIX.

Durant aquests segles la documentació existent sobre les inundacions provocades pels rius Segre i Cinca i sobre els períodes de sequera detectats per les cerimònies de rogatives *pro pluviam* de diverses ciutats de la plana, és bastant nombrosa. Durant el segle XIV hi ha avingudes del Segre el 1380 (FONT 1988, 63) i rogatives *pro pluviam* a Cervera, Tàrraga i Balaguer (1333, 1356, 1393 o 1399) (ASCASO-CASALS 1981, 69).

Però és en el segle XV quan s'inicien a la península ibèrica les sèries documentals més fiables que contenen el registre de cerimònies de pregària i que continuaran fins als inicis del segle XIX (MARTÍN-VIDE - BARRIENDOS 1995). Amb relació a la nostra àrea d'estudi, aquests autors han analitzat la sèrie documental de Cervera (1484-1850) i de Reus/Tarragona (1493-1870). És, a més, un segle de pestes, possiblement afavorides per la manca d'aigua (ASCASO-CASALS 1981, 69).

Es coneix per al segle XV una avinguda del Segre en 1450 (FONT 1988, 35), mentre que per al segle XVI la inestabilitat meteorològica augmenta: el nombre de riuades a Lleida ciutat és important (1504, 1544, 1587, 1597-1617); entre el 1596 i el 1617 es donen fortes pluges primaverals; cal afegir, a més, greus epidèmies de pesta (1501, 1521, 1530 a tot Catalunya, 1586, 1589); una forta sequera entre 1548 i 1550, i episodis aïllats com un terratrèmol (1515) i fins i tot

un eclipsi de sol (1516) (VILALTA 2003).

A la Segarra, hi va haver un període de 8 mesos sense ploure i nombroses rogatives a Cervera, Tàrraga i Balaguer (1541, 1548, 1566, 1577, 1586, 1539) (ASCASO-CASALS 1981, 69).

Per la seva banda l'estudi, pol·línic de la ciutat de Lleida infereix unes condicions climàtiques d'humitat superior a les del període islàmic, segles X-XI, però inferior a les proporcionades pel període romà (RIERA 2001).

Durant el segle XVII les dades documentals augmenten exponencialment. Entre el darrer quart del segle XVI i la meitat del XVII les anomalies positives de precipitació són molt nombroses, així com els episodis de freds intensos, com una nevada a Lleida el 1603 (FONT 1988, 81). Per exemple, l'any 1617 és conegut com "l'any del diluvi", amb 32 dies de pluges de tardor, amb una gran riuada i inundacions al novembre que afectaren des de més enllà de Balaguer fins a Tortosa (PEÑA 1984; FONT 1988, 86; PASSOLA 2004, 346).

A la ciutat de Lleida entre 1624 i 1638, es documenten 6 riuades (1624, 1625, 1628, 1631, 1633, 1638, i també 1678), i durant el segle, nombrosos anys amb un excés de pluviositat (1629, 1637, 1641-1643, 1647, 1648, 1668-1669, 1678, 1692-1700) (PEÑA 1984; PASSOLA 2004, 345-346). També les cerimònies rogatòries *pro pluviam* són extremadament nombroses, amb 25 de comptabilitzades entre 1606 i 1682 a Cervera, Tàrraga i Balaguer, i fins i tot inviten a les rogatives els pobles veïns (ASCASO-CASALS 1981, 69). La inestabilitat climàtica era, doncs, molt acusada.

Un dels nostres punts, corresponent a la ciutat de Lleida, pertany a aquest moment, datat entre mitjan segle XVI i mitjan segle XVII. Ha proporcionat una precipitació mitjana de 411 mm, no gaire elevada si en considerem altres d'inferides. L'estudi dendroclimatològic de Pallaruelo de Monegros dóna unes precipitacions mitjanes per als segles XVI i XVII de 429,8 i 434,7 mm, respectivament, encara que s'observa un comportament general a llarg termini (del segle XV al XX) de gran estabilitat (CREUS *et al.* 2000, 38).

A partir de 1580 i fins al 1760 cal. DNE a Estanyà s'observa una baixada del nivell de l'aigua (episodi III), en què el mínim documentat és cap al 1700 d.n.e., correlacionat amb un període sec i càlid enregistrat per les sèries dendroclimatològiques entre 1675 i 1750 (RIERA *et al.* 2004, 319).

En 1760 s'inicia un dels períodes d'anomalies positives de Barriendos i Martín-Vide (1998, 480-483) que es perllonga fins al segle XIX, en el mateix moment que a Estanyà s'observa un increment progressiu en la profunditat del llac (episodi II) (RIERA *et al.* 2004, 319). La mitjana de precipitació inferida a partir de la $\Delta^{13}C$ per al segle XVIII a Lleida és de 452 mm, també de les cinc més elevades de tota la sèrie.

Els desbordaments dels rius pirinencs no són ni de bon tros tan nombrosos com en el segle anterior, però és coneixen importants riuades del Segre i del Cinca en 1787 i 1788 (FONT 1988, 81; FERNÁNDEZ 2003). A partir d'aquest moment, es coneixen quatre grans inundacions del Segre: en 1841, 1866, 1907 i 1982.

Conclusions

El present treball ha intentat mostrar com l'anàlisi de la discriminació isotòpica del carboni realitzada en material arqueobotànic, granes i carbons, permet inferir les condicions hídriques d'una regió determinada —en aquest cas la plana occidental catalana— i la seva evolució al llarg del temps. Principalment, són els carbons els que aporten una informació de major interès, ja que la proporcionen sobre les condicions climàtiques en períodes més llargs que els conreus herbacis.

A partir dels resultats obtinguts s'han pogut establir diversos períodes amb rangs de precipitació diferents, tots ells amb quantitats mitjanes superiors a l'actual. Destaca un període d'aridesa durant el primer mil·lenni a.n.e., que comença a remuntar cap al 500 a.n.e. fins a un màxim de precipitació als inicis de la nostra era, i un posterior decreixement progressiu fins arribar als nostres dies, encara que es pot intuir un augment pluviomètric en el segle XVIII. Aquestes dades concorden en molts casos amb altres estudis paleoecològics realitzats en la Mediterrània occidental, encara que és palesa la necessitat d'una actualització i contrastació de totes les dades disponibles i de les seves datacions.

D'ara en endavant, la continuació del projecte s'orienta cap a l'ampliació de les anàlisis de $\Delta^{13}\text{C}$ a altres espècies forestals i a l'increment de les mostres carpològiques i antracològiques que ens permetin cobrir els buits cronològics existents.

Natàlia Alonso

Grup d'Investigació Prehistòrica, Departament d'Història, Universitat de Lleida,
Pl. Víctor Siurana, 1, 25003, Lleida.

Juan Pedro Ferrio

Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal, Universitat de Lleida,
Av. Rovira Roure 191, 25198, Lleida.

Àlicia Florit

Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal, Universitat de Lleida,
Av. Rovira Roure 191, 25198, Lleida.

Joan B. López

Grup d'Investigació Prehistòrica, Departament d'Història, Universitat de Lleida,
Pl. Víctor Siurana, 1, 25003, Lleida.

Raquel Piqué

Departament de Prehistòria,

Agraïments

Sense unes excavacions arqueològiques consciencioses no seria possible cap estudi científic posterior: per això volem agrair la seva feina a tots els integrants del Grup d'Investigació Prehistòrica de la Universitat de Lleida, del Servei Municipal d'Arqueologia de l'Ajuntament de Lleida, a Javier Rey i Salvador Melguizo. També a Jacek Wierckos del Servei de Microscopia Electrònica de la Universitat de Lleida per la seva ajuda i a Maite Ros pels seus

anys d'estudis antracològics.

Aquest treball ha estat cofinançat per un projecte precompetitiu de la Universitat de Lleida i pels projectes CICYT BTE2001-3421-C02-01 i CICYT BSO2001-0523. J. P. Ferrio gaudeix en l'actualitat d'una beca F.P.I. de la Generalitat de Catalunya.

Bibliografia

ALEXANDRE 1987

P. Alexandre, *Le climat en Europe au Moyen Age. Contribution à l'histoire des variations climatiques de 1000 à 1425, d'après les sources narratives de l'Europe occidentale*, Ed. de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris.

ALONSO 1992

N. Alonso, *Conreus i agricultura a la Plana Occidental Catalana en Època Ibèrica. Estudi Arqueobotànic de Margalef (Torregrossa, el Pla d'Urgell) i Tossal de les Tenalles (Sidamon, el Pla d'Urgell)*, Quaderns d'Arqueologia del Grup de Recerques de "La Femosa", Artesa de Lleida.

ALONSO 1999

N. Alonso, *De la llavor a la farina. Els processos agrícoles protohistòrics a la Catalunya Occidental*, Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, 4, CNRS.

ALONSO, en premsa

N. Alonso, "Roman and Islamic plant remains from the city of Lleida (Catalonia, Spain)", *Vegetation History and Archaeobotany*, en premsa.

ALONSO *et al.* 2002

N. Alonso *et al.* (coord.), *Recuperant el passat a la línia del Tren d'Alta Velocitat. L'assentament protohistòric, medieval i d'època moderna de El Vilot de Montagut (Alcarràs, Lleida)*, Gestora de Infraestructuras Ferroviarias i Generalitat de Catalunya, Lleida.

ARAUS, BUXÓ 1993

J. L. Araus, R. Buxó, "Changes in carbon isotope discrimination in grain cereals from the north-western Mediterranean basin during the past seven millenia", *Australian Journal of Plant Physiology*, 20, 117-128.

ARAUS *et al.* 1997a

J. L. Araus, A. Febrero, R. Buxó, M. D. Camalich, D. Martín, F. Molina, M. O. Rodríguez-Ariza i I. Romagosa, "Changes in carbon isotope discrimination in grain cereals from different regions of the western Mediterranean basin during the past seven millennia. Palaeoenvironmental evidence of a differential change in aridity during the late Holocene", *Global Change Biology*, 3, 107-118.

ARAUS *et al.* 1997b

J. L. Araus, A. Febrero, R. Buxó, M. O. Rodríguez-Ariza, F. Molina, M. D. Camalich, D. Martín i J. Voltas, "Identification of Ancient Irrigation Practices based on the Carbon Isotope Discrimination of Plant Seeds: a Case Study from the South-East Iberian Peninsula", *Journal of Archaeological Science*, 24, 1997, 729-740.

ARAUS *et al.* 1999a

J. L. Araus, A. Febrero, M. Català, M. Molist, J. Voltas i I. Romagosa, "Crop water availability in early agriculture: evidence from carbon isotope discrimination of seeds from a tenth millennium BP site on the Euphrates", *Global Change Biology*, 5, 201-212.

ARAUS *et al.* 1999b

J. L. Araus, G. A. Slafer i I. Romagosa, "Durum wheat and barley yields in antiquity estimated from ¹³C discrimination of archaeological grains: a case study from the Western Mediterranean Basin", *Australian Journal of Plant Physiology*, 26, 345-352.

ASCASO, CASALS 1981

A. Ascaso i M. Casals, "Períodos secos y sequías en la Depresión Central del Ebro", *Geographicalia*, 11-12, julio-diciembre 1987, 55-71.

BARRIENDOS, MARTÍN-VIDE 1998

- M. Barriendos i J. Martín-Vide, "Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish Mediterranean coastal area (14th-19th centuries)", *Climatic Change*, 38, 479-491.
- BINTLIFF 1982
J. L. Bintliff, "Paleoclimatic modelling of environmental changes in the East Mediterranean Region since the last glaciation", J. L. Bintliff i W. van Zeist (eds.), *Palaeoclimates, Palaeoenvironments and Human Communities in the Eastern Mediterranean Region in Later Prehistory*, B.A.R. Int. Ser., 133, 485-527.
- BURILLO *et al.* 1986
F. Burillo, M. Gutiérrez, J. L. Peña i C. Sancho, "Geomorphological processes as indicators of climatic changes during the Holocene in the North-East Spain", F. López-Vera (dir.), *Quaternary Climate in Western Mediterranean*, Universidad Autónoma de Madrid, 31-44.
- BURJACHS 1998
F. Burjachs, "Análisis polínico del poblado protohistórico de Genó (Aitona, el Segrià)", J. L. Maya *et al.* (eds.), *Genó: un poblado del Bronce Final en el Bajo Segre (Lleida)*, Universitat de Barcelona, 177-186.
- BURJACHS, RIERA 1996
F. Burjachs i S. Riera, "Canvis vegetals i climàtics durant el neolític a la façana mediterrània ibèrica", I *Congrés del Neolític a la Península Ibèrica* (Gavà-Bellaterra), 1995, *Rubricatum*, 1, 21-25.
- BUTZER *et al.* 1983
K. W. Butzer, I. Miralles i J. F. Mateu, "Las crecidas medievales del río Júcar según el registro geo-arqueológico de Alzira", *Cuadernos de Geografía*, 32-33, 311-332.
- CARMONA *et al.* 1985
P. Carmona, A. Ribera i J. V. Lerma, "Geoarqueología en la ciudad de Valencia", *XVII Congrés Nacional d'Arqueologia*, Saragossa, 859-873.
- CONESA *et al.* 1994
J. A. Conesa, A. Mayoral, J. Pedrol i J. Recasens, *El paisatge vegetal dels espais d'interès natural de Lleida: àrea meridional*, Institut d'Estudis Ilerdencs, Diputació de Lleida.
- CRAIG 1954
H. Craig, "Carbon-13 in sequoia rings and the atmosphere", *Science*, 119, 141-143.
- CREUS *et al.* 1996
J. Creus, A. Fernández i E. Manrique, "Evolución de la temperatura y precipitación anuales desde el año 1400 en el sector central de la Depresión del Ebro", *Lucas Mallada*, 8, 9-27.
- CREUS *et al.* 2000
J. Creus, A. Fernández i E. Manrique, "Análisis de la variabilidad del clima español durante el último milenio", L. Balairón (dir.), *El cambio climático, El campo de las ciencias y las artes*, 137, 27-48.
- DE MENOCAL 2000
P. de Menocal, J. Ortiz, T. Guilderson i M. Sarnthein, "Coherent High- and Low-Latitude Climate Variability During the Holocene Warm Period", *Science*, 288, 2198-2202.
- DE NIRO, HASTORF 1985
M. J. de Niro, C. A. Hastorf, "Alteration of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plant matter during the initial stages of diagenesis: Studies utilizing archaeological specimens from Peru", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 97-115.
- DUPOUEY *et al.* 1993
J. L. Dupouey, S. Leavitt, E. Choinel i S. Jourdain, "Modeling carbon isotope fractionation in tree rings based on effective evapotranspiration and soil water status", *Plant Cell Environ*, 16, 939-947.
- DUPRÉ, RENAULT-MIKOVSKY 1990
M. Dupré i J. Renault-Mikovsky, "El hombre y su impacto en las zonas bajas mediterráneas. Datos palinológicos de sedimentos arqueológicos holocenos", a *Archivo de Prehistoria Levantina*, 20, 133-141.
- EQUIP MINFERRI 1997
Equip Minferri, "Noves dades per a la caracterització dels assentaments a l'aire lliure durant la I^a meitat del II mil·lenni cal. BC: primers resultats de les excavacions en el jaciment de Minferri (Juneda, les Garrigues)", *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 7, 161-211.
- EQUIP SARRÓ 2000
Equip Sarró, "Les Roques del Sarró (Lleida, Segrià): Evolució de l'assentament entre el 3600 cal. ANE i el 175 a.n.e.", *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 10, 103-173.
- FARQUHAR *et al.* 1982
G. D. Farquhar, M. H. O' Leary i J. A. Berry, "On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaf-veins", *Australian Journal of Plant Physiology*, 9, 121-137.
- FARQUHAR *et al.* 1989
G. D. Farquhar, J. R. Ehleringer i K. T. Hubick, "Carbon isotope discrimination and photosynthesis", *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40, 503-537.
- FEBRUARY 2000
E. C. February, "Archaeological charcoal and dendrochronology to reconstruct past environments of southern Africa", *South African Journal of Science*, 96, 111-116.
- FERNÁNDEZ 2003
R. Fernández, *El segle XVIII. Història de Lleida*, vol. 4, Pagès editors.
- FERRIO, VOLTAS 2005
J. P. Ferrio, J. Voltas, "Carbon and oxygen isotope ratios in wood constituents of *Pinus halepensis* as indicators of precipitation, temperature and vapour pressure deficit", *Tellus B* (acceptat).

FERRIO *et al.* 2003a

J. P. Ferrio, A. Florit, A. Vega, L. Serrano i J. Voltas, "Δ¹³C and tree-ring width reflect different drought responses in *Quercus ilex* and *Pinus halepensis*", *Oecologia*, 137, 512-518.

FERRIO *et al.* 2003b

J. P. Ferrio, J. Voltas i J. L. Arous, "Use of carbon isotope composition in monitoring environmental changes", *Management of Environmental Quality*, 14, 82-98.

FERRIO *et al.*, enviat per publicar-lo

J. P. Ferrio, N. Alonso, J. B. López, J. L. Arous i J. Voltas, "Carbon isotope discrimination and climatic inference from fossil charcoal", article enviat a *Global Change Biology*.

FLORIT 2001

A. Florit, *Evolución de las condiciones de aridez en la Depresión del Ebro durante los últimos cuatro milenios: inferencia mediante la discriminación isotópica ¹³C/¹²C en maderas de Pinus halepensis*, projecte final de carrera inèdit, ETSEA, Universitat de Lleida.

FONT 1988

I. Font Tullot, *Historia del clima en España. Cambios climáticos y sus causas*, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

GARCÍA 1996

J. C. García, *Un clima para la Historia...Una historia para el clima*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, Santander.

GIL *et al.* 2001-2002

I. Gil, A. Lorient, M. Molins, M. Morán i X. Payà, "Darreres aportacions arqueològiques al coneixement de la ciutat de Lleida en època moderna", *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 11-12, 359-385.

GRIBBIN, LAMB 1978

J. Gribbin i H. H. Lamb, "Climatic change in historical times", J. Gribbin (ed.), *Climatic Change*, Cambridge University Press, 68-82.

GIP 2003

Grup d'Investigació Prehistòrica, "El campo frisio y la fortaleza de 'Els Vilars d'Arbeca' (Lleida, España), siglos VIII-IV a.n.e.", N. Alonso *et al.* (coords.), *Chevaux-de-frise i fortificació en la primera edat del ferro europea*, Universitat de Lleida, 233-274.

GUO, BUSTIN 1998

Y. Guo, R. M. Bustin, "FTIR spectroscopy and reflectance of modern charcoals and fungal decayed woods: implications for studies of inertinite in coals", *International Journal of Coal Geology*, 37, 29-53.

GUTIÉRREZ, PEÑA 1992

M. Gutiérrez i J. L. Peña, "Evolución climática y geomorfológica del Holoceno superior (Cordillera Ibérica, Depresión del Ebro y Pre-Pirineo)", A. Cearreta i F. M. Ugarte, *The late Quaternary in the Western Pyrenean Region*, Bilbao, 109-124.

IBÁÑEZ 1999

J. Ibáñez, "Evolución de la potencialidad agrotérmica en la Celtiberia durante la Edad del Hierro", F. Burillo (coord.), *IV Simposio sobre Celtíberos, Economía, Institución Fernando el Católico, Saragossa*.

JALUT *et al.* 2000

G. Jalut, A. Esteban, L. Bonnet, Th. Gauquelin i M. Fontugne, "Holocen climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160, 255-290.

JONES, CHALONER 1991

T. P. Jones, W. G. Chaloner, "Fossil charcoal, its recognition and palaeoatmospheric significance", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 97, 39-50.

KOROL *et al.* 1999

R. L. Korol, M. U. F. Kirschbaum, G. D. Farquhar i M. Jeffreys, "Effects of water status and soil fertility on the C-isotope signature in *Pinus radiata*", *Tree Physiology*, 19, 551-562.

LAMB 1977

H. H. Lamb, "Climatic fluctuations", H. Flohn (ed.), *World Survey of Climatology, II, General Climatology*, Elsevier, 173-249.

LAMB *et al.* 1995

H. F. Lamb, F. Gasse, A. Benkaddour, N. El Hamouti, S. van der Kaars, W. T. Perkins, N. J. Pearce i C. N. Roberts, "Relation between century-scale Holocene arid intervals in tropical and temperate zones", *Nature*, 373, 134-137.

LEAVITT, LONG 1988

S. W. Leavitt i A. Long, "Stable carbon isotope chronologies from trees in the south western United States", *Global Biogeochem. Cycles*, 2, 189-198.

LE ROY LADURIE 1991

E. Le Roy Ladurie, *Historia del clima desde el año mil*, Fondo de Cultura Económica, Mèxic.

LÓPEZ 2000

J. B. López, *L'evolució del poblament protohistòric a la plana occidental catalana: models d'ocupació del territori i urbanisme*, tesi doctoral inèdita, Universitat de Lleida.

LÓPEZ 2001

J. B. López, "Minferri en el context de l'edat del bronze a la plana occidental catalana", GIP, *Colors de Terra. La vida i la mort en una aldea d'ara fa 4.000 anys. Minferri (Juneda), Quaderns de la Sala d'Arqueologia*, 1, Institut d'Estudis Ilerdencs, Lleida, 13-40.

LÓPEZ, ARAGUAS 1986

F. López i L. Araguas, "Paleoclimatic implications from the study of paleowaters in the Southern half of the Iberian Peninsula", *Quaternary Climate in Western Mediterranean*, Madrid, 441-465.

- LORIENTE *et al.* 1997,
A. Loriente, I. Gil i X. Payà, "Un exemple del model urbà andalusí: *medina Larida*. L'aportació de l'arqueologia urbana al món àrab", *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 7, 77-106.
- MCCORNAC *et al.* 1994
F. G. McCornac, M. G. L. Baillie, J. R. Pilcher, D. M. Brown i S. T. Hoper, "D¹³C measurements from the Irish oak chronology", *Radiocarbon*, 36, 27-35.
- MAGNY 1995
M. Magny, *Une histoire du climat. Des dernier mammoths au siècle de l'automobile*, Ed. Errance, París.
- MAGNY, RICHARD 1992
M. Magny i H. Richard, "Essai de synthèse vers une courbe de l'évolution du climat entre 500 BC et 500 AD", *Les nouvelles de l'archéologie*, 50, 58-60.
- MARINO, DE NIRO 1987
B. D. Marino, M. J. de Niro, "Isotope analysis of archaeobotanicals to reconstruct past climates: effects of activities associated with food preparation on carbon, hydrogen and oxygen isotope ratios of plant cellulose", *Journal of Archaeological Science*, 14, 537-548.
- MARINO *et al.* 1992
B. D. Marino, M. B. McElroy, R. J. Salawitch, G. D. Spaulding, "Glacial-to-interglacial variations in the carbon isotopic composition of atmospheric CO₂", *Nature*, 357, 461-466.
- MARTÍN-VIDE, BARRIENDOS 1995
J. Martín-Vide i M. Barriendos, "The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain)", *Climatic Change*, vol. 30, 2, june 201-221.
- MARTÍN-VIDE, BARRIENDOS 2000
J. Martín-Vide i M. Barriendos, "El clima del pasado: la perspectiva històrica", L. Balairón (dir.), *El cambio climático, El campo de las ciencias y las artes*, 137, 49-67.
- MORATÓ 1973
J. M. Morató, *G. Juli Cèsar. Comentaris de la Guerra Civil*, vol. I, Fundació Bernat Metge, Barcelona.
- OLCINA, MARTÍN-VIDE 1999
J. Olcina i J. Martín-Vide, *La influencia del clima en la historia*, Cuadernos de Historia, 11, Arco/Libros, Madrid.
- PASSOLA 2004
A. Passola, *El segle XVII. Història de Lleida*, vol. 5, Pagès Editors.
- PAYÀ *et al.* 1996
X., Payà, I. Gil, A. Loriente, A. Lafuente, M. Morán, "Evolució espacial i cronològica de l'antiga ciutat d'Ilerda", *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 6, 119-149.
- PEARMAN *et al.* 1976
I. Pearman, R. J. Francey i P. J. B. Fraser, "Climatic implications of stable carbon isotopes in tree rings", *Nature*, UK, 260, 771-772.
- PEÑA 1984
M. Peña, "Aproximación a la climatología en la Cataluña del s. XVII (según fuentes de la época)", *Actes del I Congrés d'Història Moderna de Catalunya*, vol. I, Universitat de Barcelona.
- PEÑUELAS, AZCÓN-BIETO 1992
J. Peñuelas i J. Azcón-Bieto, "Changes in leaf D¹³C of herbarium plant species during the last three centuries of CO₂ increase", *Plant, Cell and Environment*, 15, 485-489.
- PIQUÉ 1998
R. Piqué, "Informe de l'anàlisi antracològica de la Intervenció 46 (C/Bafart) i de la Intervenció 47 (C/Costa de Magdalena) de la ciutat de Lleida", Informe inèdit.
- PIQUÉ 1999
R. Piqué, "Informe de l'anàlisi antracològica de la Intervenció 48 (turó de la Seu, vessant sud-est) de la ciutat de Lleida", informe inèdit.
- RIERA 1994
S. Riera, *Evolució del paisatge vegetal holocè al Pla de Barcelona, a partir de les dades pol·líniques*, tesi doctoral inèdita, Universitat de Barcelona.
- RIERA 2001
S. Riera, "Informe sobre les anàlisi pol·líniques dutes a terme a la ciutat de Lleida", informe inèdit.
- RIERA *et al.* 2004
S. Riera, G. Wansard i R. Julià, "2000-year environmental history of a karstic lake in the Mediterranean Pre-Pyrenees: the Estanya lakes (Spain)", *Catena*, 55, 293-324.
- ROBINSON *et al.* 1990
W. J. Robinson, E. Cook, J. R. Pilcher, D. Eckstein, L. Kairiukstis, S. Shiyatov, D. A. Norton, "Some Historical Background on Dendrochronology. Methods of Dendrochronology", E. Cook i L. Kairiukstis (eds.), *Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands*, 1-21.
- RODANÉS 1991
J. M. Rodanés, "Investigaciones arqueológicas en el Bajo Cinca: campañas de excavación de 1989-1990 en el poblado de la Edad del Bronce de Masada de Ratón (Fraga, Huesca)", *Bolskan*, 8, 165-197.
- ROS 1993
M. T. Ros, "Análisis antracológico del yacimiento del Bronce Medio de Punta Farisa (Fraga, Huesca)", *Estudios de la Antigüedad*, 6/7, 45-47.
- ROS 1995a
M. T. Ros, "Memoria del estudio antracológico del yacimiento de Masada de Ratón (Fraga, Huesca)", informe inèdit.
- ROS 1995b
M. T. Ros, "Memoria del estudio antracológico del

- yacimiento de Tozal de los Regallos (Candasnos, Huesca)", informe inèdit.
- ROS 1997
M. T. Ros, "La vegetació de la Catalunya Meridional i territoris propers de la Depressió de l'Ebre en la prehistòria recent i protohistòria a partir dels estudis antropològics", *Gala*, 3-5, 19-32.
- SALAS 1993
L. Salas, "Análisis palinológico de la turbera de Pico Ano, implicaciones en las variaciones climáticas del Holoceno final", M. P. Fumanal i J. Bernabeu (eds.), *Estudios sobre Cuaternario. Medios sedimentarios. Cambios ambientales. Hábitat humano*, València, 179-183.
- SAURER *et al.* 1997
M. Saurer, S. Borella, F. Schweingruber i R. Siegwolf, "Stable carbon isotopes in tree rings of beech: climatic versus site-related influences", *Trees*, 11, 291-297.
- STEWART *et al.* 1995
G. R. Stewart, M. H. Turnbull, S. Schmidt i P. D. Erskine, "¹³C Natural Abundance in Plant Communities Along a Rainfall Gradient: a Biological Integrator of Water Availability", *Australian Journal of Plant Physiology*, 22, 51-55.
- STUIVER *et al.* 1998
M. Stuiver, P. J. Reimer, E. Bard *et al.*, "INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24.000-0 cal BP", *Radiocarbon*, 40, 1041-1083.
- SWITSUR, WATERHOUSE 1998
V. R. Switsur i J. S. Waterhouse, "Stable isotopes in tree ring cellulose", H. Griffiths (ed.), *Stable isotopes: integration of biological, ecological and geochemical processes*, BIOS Scientific Publishers Ltd., Oxford, 303-321.
- TRIMBORN *et al.* 1995
P. Trimborn, B. Becker, B. Kromer, J. Lipp, "Stable isotopes in tree rings: a palaeoclimatic tool for studying climatic change", B. Frenzel, B. Stauffer i M. M. Weiss (eds.), *Problems of stable isotopes in tree-rings, lake sediments and peat-bogs as climatic evidence for the Holocene*, European Science Foundation, Strasbourg, 163-170.
- VERNET *et al.* 1987
J.-L. Vernet, S. Thiébaud i Ch. Heinz, "Nouvelles données sur la végétation préhistorique postglaciaire méditerranéenne d'après l'analyse anthracologique", J. Guilaine *et al.*, *Premières Communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, CNRS, 267-274.
- VERNET 1990
J.-L. Vernet, "The bearing of phyto-archaeological evidence on discussions of climatic change over recent millennia", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, sèrie A, 330, 671-677.
- VERNET *et al.* 1996
J. L. Vernet, C. Pachiaudi, F. Bazile, A. Durand, L. Fabre, C. Heinz, M. E. Solari i S. Thiebault, "Le $\delta^{13}\text{C}$ de charbons de bois préhistoriques et historiques méditerranéens, de 35000 BP a l'actuel. Premiers resultats", *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*, sèrie IIa, 323, 319-324.
- VILALTA 2003
M. J. Vilalta, *Segle XVI. Història de Lleida*, vol. 4, Pagès Editors, Lleida.
- VOLTAS *et al.* 2000
J. Voltas, N. Alonso, L. Serrano, J. B. López i J. L. Araus, "Carbon isotope discrimination in cereal seeds from archaeological sites: paleoenvironmental and agricultural implications", pòster presentat al *V Isotope Congress*, Cracòvia (Polònia), abril 2000.
- WARREN *et al.* 2001
C. R. Warren, J. F. McGrath i M. A. Adams, "Water availability and carbon isotope discrimination in conifers", *Oecologia*, 127, 476-486.

