

Mineralogia eta Petrologia Saila

Ipar Iberiar Penintsulako Erdi Aroko biztanleriaren paleodieta eta mugikortasunaren ikerketa geokimikoa



Iranzu Laura Guede Sagastizabal

Tesia
2018-ko Otsaila

Mila esker nire zuzendariei, Luis Angel Ortega doktoreari eta bereziki, Maria Cruz Zuluaga doktoreari, geologiaren beste alderdi batzuk ezagutzeko aukera emateagatik. Nork esango zidan geologia, karreraren zehar ikusi eta ikasitako arrokak, mineralak eta fosilak baino gehiago zela.

Quisiera dar las gracias a familia y amig@s por los ánimos y apoyo durante el tiempo que he estado realizando esta tesis, así mismo a aquellos que me ayudaron a realizar los muestreos y preparar las muestras (fuesen o no luego incluidas en esta tesis). Judith eta Irene, Ebro Arroan zeharreko bidaia ez zen berdina esango zuek gabe. Nerea y Maite, fuisteis muy buenas “becarias”, fue un placer trabajar con vosotras. Aita y Ama gracias por acompañarme a recoger parte de las muestras que se incluyen en este memoria. A mi hermanito por revisarme la versión en euskera de la tesis. Pero en especial querría utilizar este momento para agradecer a Blanca, Jone y Amaia habéis sido un gran apoyo y mis consejeras particulares en esos cafés, sin olvidar los mojitos de los viernes... jajjjaja; De echo, no hay nada como un buen ambiente, para que salga un buen trabajo. De nuevo muchas gracias a todos.

Mila esker Pablo Puelles, Ainhoa Alonso eta Jon Saenz doktoreei, gogoan eramango ditut goizetako gosari horiek.

Gracias al personal de Servicios Generales de investigación (SGIker) de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) por los análisis de las muestras, especialmente a la Dra. Sonia García de Medinabeitia por los análisis de LA-ICP-MS, a la Dra. Patricia Navarro Villaverde por liofilizarme los colágenos así de bien, y al Dr. Javier Rodríguez por medir los isotopos de estroncio a pesar de que las maquinas se ponían en nuestra contra, pero sobretodo, por todo lo que me ha ayudado.

Quisiera agradecer también a Evangelina García por la compañía y ayuda en las eternas horas pasadas en la sala blanca; y a la Dra. Raquel Soraya García por realizar siempre un trabajo excelente.

A mis compañeros de despacho, el Dr. Aratz Beranoagirre y la Dra. Maria Eugenia Sánchez Lorda, por hacerme un hueco y acogerme cuando caí en este departamento. Jon eskerrak zuri ere, elkarrekin hasi ginen geologia

ikasten eta momento onak pasa genituen karrera ta baita orain ere bekarakin egon garela. Espero dut laister doktore deitu ahal izatea, Zorte on!!

Así mismo, quiero agradecer al resto de los integrantes del departamento de Mineralogía y Petrología, porque sin ellos estos cuatro años no hubiesen sido lo mismo.

Grazie alla Professoressa Paola Iacumin per avermi dato il benvenuto e anche alla sua squadra (Dottore Enricomaria Selmo, Dottoressa Antonietta Di Matteo ed Elisa Galli...) per l'aiuto nella preparazione e misurazione dei campioni. Mi hai fatto sentire a casa.

No hay análisis sin muestras, no podía faltar agradecer a los arqueólogos, al Dr. Juan Antonio Quirós Castillo, Catedrático de Arqueología; al Dr. Iñaki Garcia Camino, Director del Arkeologi Museoa; al Dr. Agustin Azkarate, Catedrático de Arqueología; al Dr. Jose Luis Solaun, a Iban Sanchez, y a José Francisco Gutiérrez, y a la antropóloga Miriam Pina, por dejarme “maltratar” las muestras para obtener los resultados que se presentan en esta tesis y así, darme la oportunidad de colaborar en el conocimiento de la historia de nuestros antepasados.

A cuenta de seleccionar las muestras de huesos y dientes me pase unas cuantas horas entre las paredes del Arkeologi Museoa de Bizkaia. Así que quiero agradecer a la Dra. Sonia Anibarro, al Dr. Diego Garate y al Dr. Jose Luis Ibarra por su ayuda y paciencia por el volumen de cajas y cajas que les hice sacar.

Gracias a las limpiadoras por preocuparse por mí, de hecho habéis sido como unas segundas madres.

Agradezco al Gobierno Vasco por la concesión de la beca predoctoral (PRE-2013-1-329) que han permitido realizar este trabajo.

Amaitzeko garrantzitsuena utzi dut. Tesia idazten bukatzen nengoela Jazz joan zitzaigun. 14 urtez nire ondoan egon ondoren leku berezia gorde nahi izan diot memoria honetan. Ondorengo estrofeak (Gontzal mila esker hitz eder hauengatik) ondo baino hobeto laburbiltzen dute gure historia.

“Hainbeste urtez itxaron ondoren
ustekabeen agertu zinen
babesik gabe eta maitasun eske
Edonork animaliarik abandonatuko luke?
Zorionak zorion, aurkitu zintuzten
etorri berri zinela korrika hasi zinen egiten
argazki, marrazki, koadro eta guzti
irudi guztietan bezain azti.
Denborak, hala ere, ez du barkatzen
pixkanaka hasi zinen itzaltzen
istorio guztien antzera
hasierak ere badu bere amaiera.
Horrela joan zinen, lagun
zure musikaren memoriak ez utziriz oso urrun.”

(Gontzal Guede)

Laburpena

Gizakien hezur eta hortzetan neurtutako isotopo egonkorak ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$) eta isotopo erradiogenikoa ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) erabili dira dieta eta mugikortasun ereduak birreraikitzeke. Isotopoen bidezko ikerketak Erdi Aroko zenbait aztarnategietan egin dira. Aztarnategi hauek ipar Iberiar Penintsulako eskualde geografiko ezberdinetan daude kokatuak eta VI eta XI. mendeen artekoak dira. Ikertutako aztarnategien artean, erlijioari begira, hiru dira Kristauak (Alegria-Dulantzi, Alaba; Las Gobas, Burgos eta San Juan de Momoitio, Bizkaia) eta bat Islamiarra (Tauste, Zaragoza).

Karbono eta nitrogeno isotopoen neurketak gizaki eta faunaren hezurretik lortutako kolagenoan egin dira. Gainera, hortz eta hezur laginak analizatu dira estrontzio eta oxigeno isotopoen ikerketarako. Tausteko aztarnategian osasun eta paleodieta ereduak ikertzeko isotopoen ikerketez gain, hortzetan oligoelementuen analisisa egin da, LA-ICP-MS teknika erabiliz.

San Martin de Dulantzi aztarnategiko (Alegria-Dulantzi, Alaba, Espainia) 33 gizabanakoren hezur eta hortzetan estrontzio isotopoak analizatu dira. Gehienek lekuko konposizio isotopikoaren antzeko balioak erakutsi dituzte, jatorri lokala edo Dulantziko herrian denbora luzea bizitzen zeramatzatela islatuz. Gizabanako ez lokalen artean, gune geologiko bereizgarrietako bi talde bereizten dira. Hala ere gizabanako ez lokalak ikertu den denbora osoan zehar banatzen dira eta kopuru mugatuko mugimendu iradokitzen dituzte. Beraz, Dulantziko biztanleria nagusiki tokiko gizarteak osatzen du, atzerritarren noizbehinkako sarrerarekin.

Las Gobas (Burgos) aztarnategiko 40 gizakien hezur eta hortzetan estrontzio, karbono eta nitrogeno isotopoak analizatu dira. Estrontzio

isotopoen balioak gizakien mugimenduak X-XI. mendeetan eman zirela argitu du, Laño herriaren sorrerarekin bat etorriz, eta nagusiki emakume eta umeak izan ziren mugitzen zirenak.

Karbono eta nitrogeno isotopoen erlazioak dieta orojalea adierazten dute, zehazki lurreko landare baliabideekin oinarritutako dieta, zein animalietatik eratorritako proteina kantitate urriak ere.

Artaxikiaren kontsumoa garai goiztiar bati mugatua azaltzen da (VII-IX. mendeak), ondoren garia eta garagarrak ordezkatzeko dute (X.-XI. mendeak). Orokorrean, Laño biziaren artean, sexu eta adinaren arabera ezberdintasunak dietan ez da antzeman.

San Juan de Momoioko (Bizkaia) 93 gizabanakoen hezur eta hortzetan estrontzio, oxigeno, karbono eta nitrogeno isotopoen analisiak egin dira. Oxigeno eta estrontzio isotopoek gizabanako gehienek Momoioko ingurukoak direla adierazten dute. Bost gizabanako baino ez dira lokalak, hauen jatorri eskualdea Atlantiar Ozeanoko kostaldea (seguruena Frantziako hego ekialdea) izango zela.

Karbono eta nitrogeno balioek, elikagaien baliabideak antzekoak direla adierazten dute, eta biztanleriaren dieta, zerealetan (C3 et C4 motatakoak), barazki eta lekaletan oinarritua dagoela markatzen dute, noizbehinkako animalietatik eratorritako proteinaren sarrerarekin. Jateko ohituretan ikusi diren aldaketak ez dute sexuaren arabera ezberdintasunak islatzen, baina landa gizartearen antolamenduan eta Erdi Aroko gizartearen eman ziren aldaketak islatzen dituzte. Las Gobas aztarnategian ez bezala, artaxikiaren kontsumoa handitu egin zen azken etapa zehar, hilerriaren ustearekin bat etorriz.

Azkenik, Tauste herriko (Zaragoza, Espainia) Islamiar nekropoliko 31 gizabanako analizatu ziren $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ eta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ konposizioak zehazteko. Estrontzio eta oxigeno isotopoen konbinaketak gizabanako gehienek jatorri lokala dutela adierazten dute, eta hiru emakume eta bi gizon soilik direla kanpotarrak. Bi gizonen jatorria eskualdea beroagoa batean egongo litzateke, aldiz bi emakumeena menditsuagoa den eskualdean, eta hirugarrena geologikoki ezberdina den eskualdean. Beste aztarnategiekin alderatuz oinarritzko $\delta^{15}\text{N}$ balio oso altuak erakusteagatik nabarmentzen da Tauste, zein arroka amaren konposizioaren ondorioa den (igeltsuak eta gatzak). Gizabanakoen $\delta^{15}\text{N}$ balio altuak ongariaren efektuari eta ur gezako arrainak jatearekin lotzen dira. Gainera isotopoen datuek, gizon helduek emakume eta gazteek baino animaliatik eratorritako proteina gehiago jaten zutela adierazten dute, Erdi Aroko Islamiarren artean gizarteko kiderik pribilegiatuena direla islatuz.

Horrez gain, Tauste-ko musulmanen 23 hortzen esmaltea eta dentinaren konposizio kimikoa zehaztu da. Emaitza analitikoek gizon helduen, eta emakumeen eta gizon gazteen artean dieta ezberdinak zituztela erakusten dute. Hortaz, konposizio kimikoak eta datu isotopikoek antzeko emaitzak eman dituzte. Horrez gain, konposizio kimikoak pertsonen osasunaren egoera islatu dezakete. Horrela, bost pertsonen berunezko intoxikazioa erakusten dute eta hau, jatorri antropogenoa duen berunaren eraginpean egoteari iradokitzen zaio.

Hainbat isotopoen azterketek Erdi Aroko bizitzaren nondik norakoak ulertzea baimendu du. Estrontzio eta oxigeno isotopoen konposizioak mugikortasuna mugatua zela proposatzen du, izan ere atzerritarren diren gizabanakoen kopurua baxua da. Nahiz eta atzerritarren jatorri eremuak zehaztea zaila izan den, jatorria inguruko eremuan dutela iradokitzen

dute isotopoen datuek, hala ere, batzuen jatorria ezin izan da zehaztu. Paleodieta erduek Erdi Aroko landa-populazioen artean antzeko elikagaiak jaten zituztela adierazten dute, baina, baita ere, musulmanen artean sexu eta adinaren araberako desberdintasunak erakusten dira. Honek kristauen eta musulmanen artean bizitza sozialaren dinamika ezberdinak ematen zirela erakutsiko luke.

Aurkibidea

Sarrera	1
Bizitoki mugikortasuna	4
<i>Estrontzio isotopoak</i>	5
<i>Oxigeno isotopoak</i>	8
Dietaren birreraiketa	11
<i>Karbono isotopo egonkorak</i>	14
<i>Nitrogeno isotopo egonkorak</i>	16
<i>Hortzetan aztarna elementuen analisiak LA-ICP-MS metodoaren bidez</i>	18
Helburuak	21
Aurkikuntzen laburpena	25
Metodologia	33
Laginen aukeraketa	36
<i>Giza aztarnen laginketa</i>	36
<i>Fauna aztarnaen laginketa</i>	38
<i>Lurzoruen eta uren laginketa</i>	39

Laginen prestakuntza	39
<i>Isotopoen analisirako laginketa prestatzea</i>	40
Karbono eta nitrogeno isotopoak	40
Estrontzio isotopoak	41
Oxigeno isotopoak	44
<i>LA-ICP-MS bidezko analisi puntualak</i>	46
Analisi estadistikoa	50
I. Kapituluua: Dulantzi aztarnategia	53
Quaternary International, 2013, 303: 54-63	
 Laburpena	55
 Sarrera	57
 San Martin de Dulantzi aztarnategia	60
 Materialak	67
 Emaitzak eta Eztabaida	69
 Ondorioak	77
II. Kapituluua: Las Gobas aztarnategia	81
Archaeological and anthropological Science 2017	
DOI 10.1007/s12520-017-0510-9	
 Laburpena	83

Sarrera	85
Isotopoen oinarriak	86
Materialak eta Metodoak	88
Emaizak	99
<i>Karbono eta nitrogeno isotopoak</i>	99
<i>Estrontzio isotopoak</i>	101
Eztabaida	102
<i>Egoitza mugikortasuna</i>	102
<i>Dieta patroiak</i>	104
<i>Konparatutako Iberiar Penintsulako beste kokalekuetako elkadurak</i>	110
Ondorioak	115
III. Kapituluak: Momoitio aztarnategia	117
American Journal of Archaeological Anthropology, Under Review	
Laburpena	119
Sarrera	121
<i>Karbono eta nitrogeno isotopo egonkorak</i>	122
<i>Estrontzio eta oxigeno isotopoak</i>	124

<i>Testuinguru arkeologikoa</i>	126
Materialak eta Metodoak	136
Emaizak	140
<i>Karbono eta nitrogeno isotopoen erlazioak hezur kolagenoan</i>	140
<i>Estrontzio eta oxigeno erlazioak hortzeko esmaltean</i>	143
Eztabaida	148
<i>Dieta ereduak</i>	148
<i>Mugikortasuna: $\delta^{18}O$ eta $^{87}Sr/^{86}Sr$</i>	152
IV. Kapituluak: Tauste aztarnategia	157
PlosOne 2017, 12(5): e0176572	
doi.org/10.1371/journal.pone.0176572	
Laburpena	159
Sarrera	161
Isotopo analisiak bioarkeologian	163
Testuinguru arkeologikoa	167
Materialak eta Metodoak	171
Emaizak eta Eztabaida	177
<i>Mugikortasun ikerketa</i>	177

<i>Elikaduraren birreraiketa</i>	185
Ondorioak	195
V. Kapituluak: Tauste site-Traza elementuen ikerketa	197
<i>Microchemical Journal 2017, 130: 287–294</i>	
Laburpena	199
Sarrera	201
Metodo experimentalak	203
<i>Materiala eta lagin prestaketa</i>	203
<i>Tresneria</i>	203
Emaitzak eta Eztabaida	208
Ondorioak	219
Ondorioak	221
Bibliografia	227
1. Eranskina: Argitaratutako artikuluak	273
2. Eranskina: Aurkeztutako artikuluak	285

Sarrera

Arkeologoek askotan materiala arkeologikoak erabiltzen dituzte antzinako populazioen bizimoduak birreraitzeko, horien artean fauna eta aztarna makrobotanikoak, polena esaterako, edo zeramikak, koprolitoak eta zeharkako iturriak, hezur-patologia edo hortzen higienaren ereduak, adibidez (Reinhard, 2000; Gretchen eta Stanley, 2001; Buzhilova, 2016, Jervis, 2014). Azken hamarkadetako dieta eta mugikortasun ikerketek, gizakien hortz eta hezurren isotopo konposizio eta konposizio kimikoari esker, asko garatu dira.

Jateko ohiturak eta denboran zehar emandako aldakuntzek, komunitate ezberdinen egitura sozial eta ekonomikoak, zein sexu, adin edo aberastasun inguruko alderdiei buruzko informazioa ematen dute. Dieta berreraikitze gehienak hezurretako karbono eta nitrogeno isotopoen balioetan oinarritzen dira. Gainera, duela gutxi giza hortzen konposizio kimikoan oinarritutako analisi alternatiboak erabiltzen hasi dira paleodieta ereduak zehazteko. Induktiboki akoplatutako masa espektrometro eta laser-ablazioaren erabilera (LA-ICP-MS) lagin solidoen zuzeneko analisisia ahalbideratzen du lagin solidoen gutxieneko suntsipenarekin (Kang et al., 2004; Speakman and Neff, 2005). Metodoaren printzipioa gizakien ehunen sinadura kimikoan oinarritzen da, kontsumitutako elikagaien sinadura islatzen duelako. Izan ere, giza hezurren eta hortzen esmaltearen osaerak kontsumitutako elikagaien araberakoak baitira (Ambrose eta Katzenberg 2000).

Bestalde, bizitoki mugikortasunaren ereduak, gizakiekin batera lurperatutako ondasunak aztertuz egin izan da (Brogiolo eta Chavarria Arnau, 2008). Gaur egun, aldiz, estrontzio eta oxigeno isotopoek erabiltzen dira. Isotopo hauek bi sistema isotopiko independenteak dira, eta konbinatuta norbanako baten iturburu eremu posibleari buruzko

informazioa, eta beraz mugikortasun erduei buruzko informazioa ematen dute (Bentley eta Knipper, 2005; Evans et al., 2006a; Evans et al., 2006b).

Tesi honetan, gizaki hezurren eta hortzen konposizio isotopikoa aztertu da Erdi Aroko biztanleen mugikortasuna eta dieta ezagutzeko. Gainera, dieta-ereduak ezartzeko, hortzaren konposizio elementala erabili da karbono eta nitrogeno isotopo egonkorren metodologiaren osagarri gisa.

Bizitoki mugikortasuna

Azken hamarkadetan, estrontzio isotopoak erabili dira mundu osoan zeharreko antzinako biztanleriaren mugikortasun ereduak identifikatzeko. Estrontzio isotopoen eta estrontzio kontzentrazioen proportzioak hezur eta hortz-esmalteetan biztanleen bizitegi mugikortasunaren eta migrazioaren ereduak ikertzeko erabiltzen dira. Argitaratutako ikerketa guztien artean, erreferentzia hauek dira esanguratsuenak: Estatu Batuetan (Price et al. 1994; Ezzo et al. 1997), Europan (Grupe et al. 1997; Bentley 2001; Price et al. 2001; Bentley et al. 2002) eta Mesoamerika (Price et al. 2000). Cox eta Sealy-ren (1997) lanean estrontzio isotopoen analisiak erabili dira itsasoan galdutako esklaboen buruzko jatorria ezagutzeko. Isotopoen bidez, Sillen et al. (1995, 1998) lanetan hominidoen habitataren erabilera birreraiki zuten eta Hoogewerff et al. (2001) –ren lanean Europa mailan ezagutzen den momiarik zaharrenaren bizitokia ezagutu zen, Austria eta Italiako mugan aurkitu zuten Tiroleko izotz gizona alegia, "Ötzi" izenez ezaguna dena.

Era berean, oxigeno isotopoaren sinadura gizakien esmalte eta kolagenoan aztertu dira mugikortasun ereduak ezagutzeko, izan ere edaten den ura bizilekuaren isla da. White et al., (1998, 2000, 2002, 2004b, 2004c, 2007) eta Prowse et al. (2007) lanetan iraganeko biztanleriaren esmalteen oxigeno isotopoen erlazioak gizabanakoen jatorriari buruzko informazioa ematen duela ikus daiteke. Gainera, gaur egungo giza populazioak ikertu dira, kasu hauetan ilea eta gernua bezalako ehunetan aztertzen dira oxigeno isotopoak (O'Brien eta Wooller, 2007; Ehleringer et al., 2008). Era berean, diziplina ezberdinetako adituek oxigeno isotopoak erabili dituzte espezie desberdinetan paleoklima berreraikitzeke (e.g. Reinhard et al., 1996; Stuart-Williams eta Schwarcz, 1997; Shahack-Gross et al., 2003; Zazzo et al., 2006), animalien migrazio eta artzaintzaren ereduak ezagutzeko (Killingley, 1980; Killingley eta Lutcavage, 1983; Balasse et al., 2006) eta animali eta landareen jatorria jakiteko (Kelly et al., 2005; Williams et al., 2005a; Benson et al., 2006; Dufour et al., 2007).

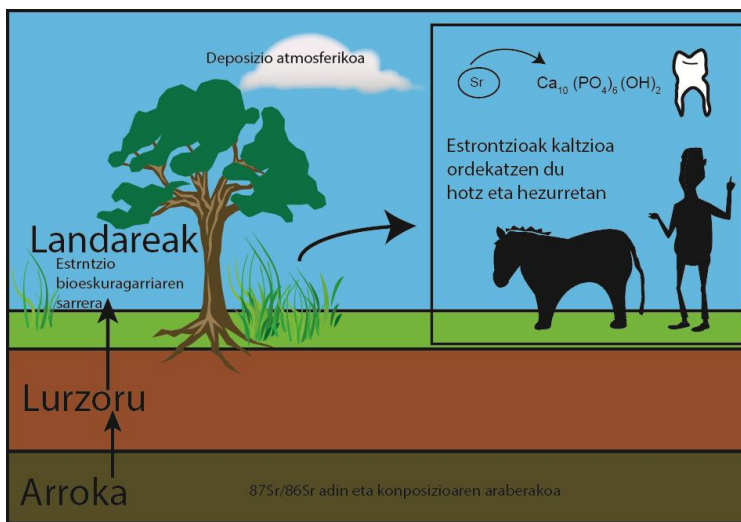
Estrontzio isotopoak

Estrontzio elementua lau isotopo egonkor ditu: ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr eta ^{88}Sr . Lurraren atmosferako estrontzio atomoen konposizio isotopikoa ^{84}Sr (%0,56), ^{86}Sr (%9,86), ^{87}Sr (%7,0) eta ^{88}Sr (%82,58) da. Soilik ^{87}Sr erradiogenikoa da eta rubidioaren desintegrazio erradioaktiboaren ondorioz sortzen da. Rb-Sr desintegrazio sistema oso erabilia da geokronologiaren esparruan eta geokimikako trazatzaile erabilgarrienetakoa da. ^{87}Sr -ren zenbatekoa arroka adina eta jatorrian dagoen rubidio kantitatearen araberakoa izango da eta, beraz, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopo erlazioa (Faure eta Powell, 1972). Nahiz eta rubidioa

disolbagarria eta bateraezina izan, estrontzioa ez da hain disolbagarria eta bateraezina, eta estrontzioak rubidioak baino erradio txikiagoa du, horrela bateragarriagoa da silikatoan aberatsak diren sistema igneoetan. Arroka oso zaharrak (>100 m.u.) Rb/Sr altuekin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioa normalean 0,710 baino altuagoa izaten dute, aldiz gazteagoak diren arrokek (<1–10 m.u.) Rb/Sr baxuekin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioak 0,704 baino baxuagoak erakusten dituzte. Lurraren mantua nahiko uniforme da eta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazio baxua erakusten du, esaterako 0,702–0,704 -ko balioak erakusten dituzte Hawaiiiko irltako eta ozeano dortsaleko basaltoek (White eta Hofmann, 1982). Arku irltan (Aleutiar Islak, Japon, Vanuatu adibidez), subdukziozko magmatismoaren mantua/lurrazalaren nahasketak sortuak, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioak 0,7035 eta 0,707 bitartean daude (Dickin, 1995). Fanerozoikoko itsas kareharri eta dolomiak tarteko $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioak dituzte (0,707– 0,709), karbonatoa hauspeatu zenean ozeanoak zuen osaera islattzen dutelarik. Lurrazal kontinentalaren arroken $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioak 0,702 eta 0,750 tartean daude, talde honetan granito zaharrenak $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioa 0,710 eta 0,740 bitartean dute, eta basalto gazteenak, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazio baxuenak, 0,703–0,704 inguruan. Nahiz eta aldakuntza hauek handiak izan, gaur egungo masa espektrometroen bidez egindako neurketak duten errore instrumental txikia da (± 0.00001 edo hobeagoa).

Estrontzioak ekosistema bereko arroka, ur, lurzoru, landare eta animalietan kontzentrazio aldakorra erakusten du. Nahiz eta organismoetan estrontzio kontzentrazioa aldakorra izan betetzen duten maila trofikoaren arabera, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopoaren erlazioa eskualde geologiko bateko landare, animalia eta lur azpiko urek eta produktu hauek jaten dituzten gizakiek, arrokaen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak islatuko dituzte (Price et al., 2002; Bentley, 2006; Malainey, 2011). Izan ere, biologi

prozesuek ez dute estrontzio isotopoetan frakzionazioarik eragiten (Graustein, 1989; Capó et al., 1998; Blum et al., 2000) (1. Irudia).



1. Irudia. Estrontzio isotopoen zikloa.

Estrontzio hezur eta hortzen hidroxipatitoko kaltzioarengatik ordekatzen da. Hortzen eta hezurren estrontzio isotopo erlazioak, kontsumitutako elikagai eta uren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopo erlazioa islatzen du (Ericson, 1985, 1989; Price et al., 1994a, 1994b). Gizakiak bizi den eskualde geologiko konkretuko elikagaiak jaten baldin baditu, bere hortzek eta hezurrek bizi izan zen eskualdeko $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope erlazioa istatuko du. Gainera esmalteak, hezurak ez bezala, ez dute beste elementurik barneratzen hartzaroaren ondoren (Hillson, 1986, 1996). Horrela, hortzen esmaltearen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioak hartzaroan bizi izan zen tokiaren konposizioa islatuko du. Aldiz hezurak, estrontzioa modu jarraian barneratzen dute (Parfitt, 1983; Smith, 1991), beraz $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioak gizakia bizi izan zen azken urteetako tokiaren isla dira.

Tokiko $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ beharrezkoa da gizabanako ez lokalak identifikatzeko (Bentley et al. 2004; Price et al. 2002, Tütken et al. 2011). Metodo ugari daude konposizio lokala finkatzeko, esaterako ura, lurzoru, iraganeko fauna zein gaur egungo animali basati txikiak (Price et al., 2002; Bentley et al., 2004; Evans et al., 2010; Tütken et al., 2011). Hala ere, prozesu diagenetikoak, materiala arkeologikoen eta aktibitate antropologikoen, ongarrien erabilera esaterako, gaur egungo ekosistemen estrontzio isotopoaren erlazioa aldatu dezakete (Böhlke eta Horan, 2000; West et al., 2009; Tichomirowa et al., 2010; Christian et al., 2011). Beraz, parametro hauek kontuan izan behar dira mugikortasun ikerketa egiterako garaian.

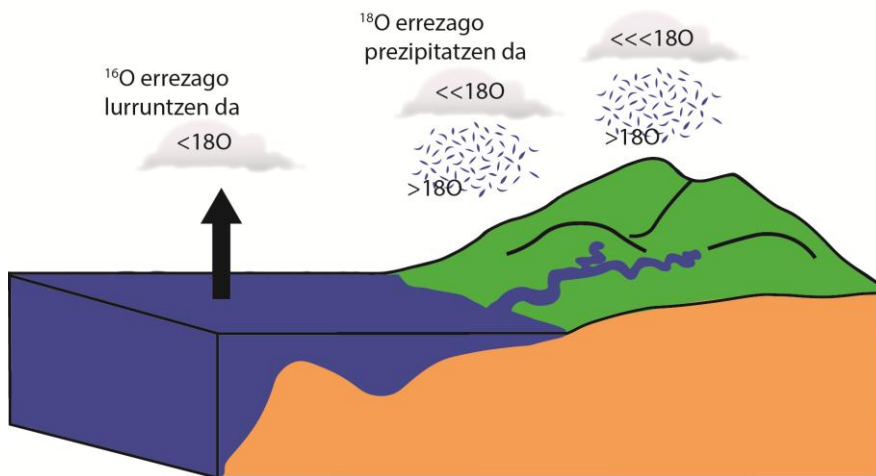
Oxigeno isotopoak

Naturan dagoen oxigenoa hiru isotopoz osatuta dago: ^{16}O , ^{17}O , eta ^{18}O . Oxigenoaren konposizio isotopikoa, Lurraren atmosferako oxigeno atomoen konposizio isotopikoa da, alegia %99,759 ^{16}O , %0,037 ^{17}O eta %0,204 ^{18}O . ^{16}O eta ^{18}O isotopoen kantitate erlatiboak uraren, izotzaren, arrokaen, landarren, gizakien, eta abarren laginean klima/ingurunearen funtzio dira. Zenbateko erlatiboak $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ edo $\delta^{18}\text{O}$ bezala adierazten dira, kalkulu formula hori hau litzateke:

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right) \text{ lagina} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right) \text{ estandarra} \right] \times 1000 / \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right) \text{ estandarra}.$$

^{16}O isotopo arinena errezago lurruntzen da, aldiz, ^{18}O isotopo pisutsuena errezago kondentsatzen da, frakzionazioa jasaten dutelako (2. Irudia). Oxigeno isotopoak edandako uraren konposizio isotopikoa islatzen du.

Eskualdeka, prezipitazio uren $\delta^{18}\text{O}$ aldakorra da, temperatura eta beste klima parametroen ondorioz, kostaldearekiko distantzia, altitudea eta latitudea esaterako (Longinelli, 1984; White et al., 1998; Darling et al., 2006; Daux et al., 2008). Gorputzeko oxigeno isotopoak hainbat frakzionazio metabolikoren menpe daude. Frakzionazio mekanismoa nahiko ondo ezagutzen da, horrela ekuazio bidez gutxi gorabehera edateko uraren kalkulua egin daitekeelarik ($\delta^{18}\text{O}_w$), fosfato biogenikoaren $\delta^{18}\text{O}_p$ balioetatik abiatuz (Longinelli, 1984; Daux et al., 2008; Luz et al., 1984; Luz eta Kolodny, 1985; Levinson et al., 1987; Bryant and Froelich, 1995; Kohn, 1996 Iacumin eta Venturelli, 2015). Gizakien aztarnetako oxigeno isotopoen konposizioak mugikortasun ereduaren ezagutza ahalbidetzen du, nahiz eta zaila izan iraganeko uren konposizioaren kalkulua.



2. Irudia. $\delta^{18}\text{O}$ balioetan Rainout efektua (Hoefs 1997 eta Coplen et al. 2000 lanetan oinarritua).

Estrontzioarekin bezala, oxigenoa hortz eta hezurretan barneratzen da edandako uren bitartez. Iraganeko gizakien mugikortasun ikerketak egiterako garaian, ohikoa da gorputz ehunen konposizio isotopikoa

neurtzea (esaterako $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) eta alderatzea inguruko oxigeno isotopoen konposizioarekin. Ikerketa arkeologiko askotan eskeletoa da aukeratutako materiala, kontserbatzen den aztarna bakarra izaten delako. Fosfato eta karbonato bioapatitoko oxigeno isotopoak ($\delta^{18}\text{O}_p$ edo $\delta^{18}\text{O}_c$) neurtuak dira hartz eta hezurretan eta ondoren, $\delta^{18}\text{O}_w$ baliora bihurtzen dira, bihurketa ekuazio espezifikoaren bidez. Literaturan erabilitako ekuazioek isotopo desberdinen efektu fisiologikoak kontuan hartzen dituzte. Ondoren, kalkulaturako balioak euri uraren edo lurpeko uraren balio ereduarekin konparatzen dira, zeintzuk idatzitako iturrietatik ateratzen diren edo extrapolatuak prezipitazioen isotopo erlazioen banaketa orokorretatik. Horrela, $\delta^{18}\text{O}_w$ balio hezuraren eta edateko uraren arteko aldea alderatuz, lokalak ez diren gizabanakoak identifikatzen dira. Hala eta guztiz ere, ingurumenaren eta bizidunen konposizio isotopikoak ez dira modu berean aldatu, eta edateko ura aurreikusitako balioaren eta uraren arteko erlazioa ez da erraza. Hori dela eta, tokian tokiko populazioetan erregistraturako balio biologikoak koherenteak izan daitezke edo ez aurreikusitako balioekin. Gainera, eremu espezifiko batean bizi diren oxigeno isotopoen balioetan beste faktore batzuek eragin ditzakete. Epe laburreko klima-baldintzak (beroagoak/hotzagoak, hotzagoak/lehorgailuak) haurtzaroan zehar gertatzen direnean, hartzetan $\delta^{18}\text{O}$ balio ezohikoak eman daitezke, horrela ^{18}O -aberastu edo ^{18}O -agortzea ekarriz. Konparaketan erabilitako urteko euri uren batzbestekoa 10-30 urteko denbora tarteari egokitzen zaio, epe hau hartz mineralizatzeko behar duen denbora izaten da. Gainera, edateko uraren hornikuntza beste tokietakoa izateak, esaterako latitude handiagoetatik edo lakuetatik edo urmaeletatik irteten diren ibaietatik, hartz eta hezurrek espero diren $\delta^{18}\text{O}$ balioak aldatu ditzakete. Sukaldatzeko erabilitako uraren ekarpenak ere $\delta^{18}\text{O}$ balioetan eragina

izan dezakete. Irakite, garagardoa egite edo bestelako sukaldatze praktikek, eta elikagai freskoen eta edateko uraren isotopoen balioak aldatzea eragiten du, askotan ^{18}O aberastea emanik. Azkenik, $\delta^{18}\text{O}_p$ -tik $\delta^{18}\text{O}_w$ -rako bihurteta matematikoarekin erlazionatutako akats analitikoak espero daitezkeen ur-balioen aldaketa gehigarriak ekarriko ditu. Nahiz eta iraganeko euri uren isotopo konposizioan konplexutasunak izan, gizakien aztarnetako oxigeno isotopoen konposizioak mugikortasun eredu identifikazioa ahalbidetzen du.

Hala eta guztiz ere, oxigeno eta estrontzio isotopoen konposizioak ez dira erabat aurreikusgarriak, izan ere, denboran zehar eskuragarri diren elikagaien aldakuntzak eta bestetik, balio hauek haurtzaroan jaiotzen den elikagaien jatorriko geologi eta eskualde geografikoaren batezbesteko konposizioa islatzen dutelako. Hori dela eta, isotopo hauen balioak gizakien aztarnen eta kokapenaren arteko lotura probableena aurreikusteko erabiltzen dira.

Dietaren birreraiketa

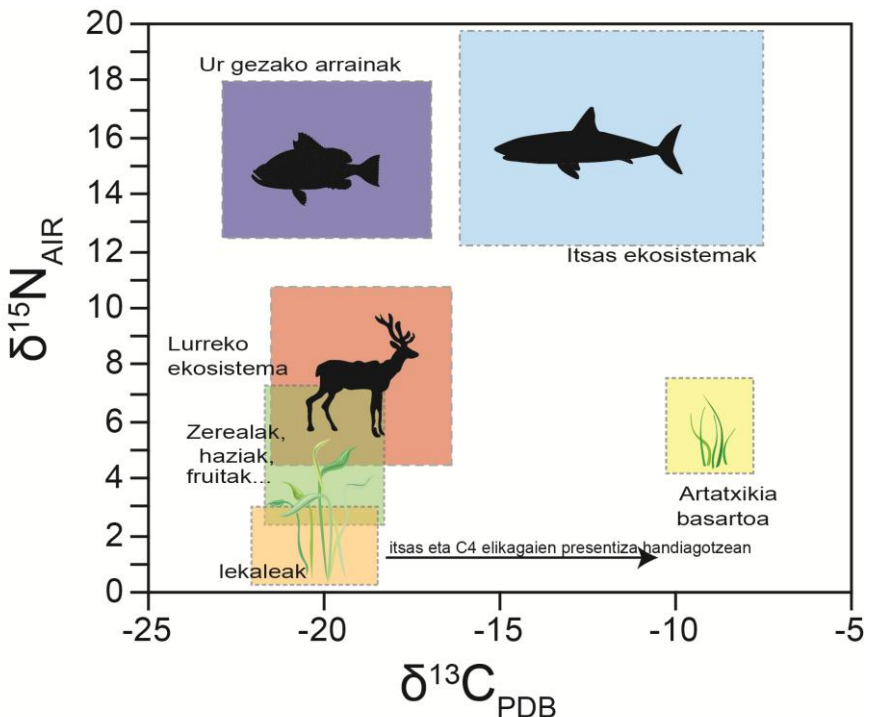
Karbono eta nitrogeno isotopo egonkorren ikasketak arkeologiaren esparruan, iraganeko biztanleriaren dieta berreraikitze, ondo ezarritako metodoa da. Gizakien ikerketetan erabiltzeaz gain, karbono eta nitrogeno isotopo egonkorrek desagertutako espezie eta gaur eguneko espezien dieta eta ekologia zehazteko erabiltzen dira. Metodoa, kontsumitzailearen kolagenoaren konposizio isotopikoak jandako isotopoaren sinaduraren isla den printzipioan oinarritzen da. Hala eta guztiz ere, isotopoaren konposizioak ez ditu elikagai edo dieta jakin batzuek identifikatzen (Richards eta Hedges 1999), baizik eta

proteina iturri nagusiak ezagutzea ahalbidetzen du (Ambrose eta Norr 1993).

Duela gutxi arte, karbono eta nitrogenoaren isotopo egonkorren metodoa gune arkeologiko mugatuetan eta mila urte baino gutxiagoko aztarnategietan erabili da (adibidez Van der Merwe, 1982; DeNiro, 1987, Bocherens et al., 1991). Alaskako ugaztun momifikatuetan ongi kontserbatutako ehun bigunen karbono isotopoak ikertu dira ere (Bombin eta Muehlenbachs, 1985). Karbono eta nitrogenoen konposizio isotopikoa Pleistozenoko ugaztun ezberdinen paleodietak ezagutzeko ere erabili da, esaterako Neanderthalak (Bocherens et al., 1991; Richards et al., 2008), kabernako hartza (Bocherens et al., 1994a, 1990) eta mamuta (Tutken et al 2007; Bocherens et al., 1994b). Kretazeoko dinosauroen dieta ezagutzeko ere probatu ziren isotopo hauek (Ostrom et al., 1990; Bocherens, 1992). Baita, papioi (Lee-Thorp et al., 1989), australopithecus (Lee-Thorp 1989; Van der Merwe et al., 2003) eta desagertutako espezie ungulatu fosilen esmalteko (Lee-Thorp, 1989, Codron et al., 2007) karbonoaren konposizio isotopikoa erabili da dieta ezagutzeko, baita ere, paleoinguruneen aldaketak jarraitzeko tresna gisa (Drucker et al., 2003) edo biztanleria arkeologikoen edoskitze eta titi-kentze ereduak egiteko ere (Katzenberg eta Pfeiffer, 1995; Schurr, 1997, 1998; Herring et al., 1998; Wright eta Schwarcz, 1998, 1999; Dupras et al., 2001; Mays et al., 2002; Schurr eta Powell, 2005; Fuller et al., 2006).

Mineralizatutako ehunetan, karbonoa, fase organikoan kolagenoan kasu, hezur eta dentinaren %90 betez, eta fase inorganikoan dago (Lee-Thorp, 1989). Aldiz, nitrogenoa proteinen osagarri nagusia da, esaterako kolagenoan, zein hezur eta dentinaren proteina nagusia den.

Fosilen informazio paleoekologikoa ondorioztatzeko isotopoen sinadura mantentzea beharrezkoa da. Gaia organikoari dagokionez, ezarri behar da (1) karbono eta nitrogeno ugaritasun isotopikoak ez direla aldatzen diagenesiaren arabera, materia organikoa ateratako aminoazidoen konposizioa kolagenoaren antzekoa bada, eta (2) kontserbazioaren kalitatea kontserbatutako materia organikoaren kopuruarekiko independentea dela (DeNiro eta Weiner, 1988; Bocherens et al., 1991a, 1993a; Fizet, 1992). Materia organikoaren kalitatea egiaztatzeko modurik onena aminoazidoen konposizioa zehaztea da, eta metodo sinplea C/N erlazio da. Kolagenoaren erlazioa 3 ingurukoa bada, kolagenoaren kalitate ona dela adierazten du (DeNiro, 1985).



6. Irudia: Ekosistemen $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioak erakusten diren grafikoa.

Karbono isotopo egonkorak

Karbono isotopoen ugaritasuna $\delta^{13}\text{C}$ moduan adierazten da, balioak milakoetan (‰) eta Pee Dee Belemnite (PDB) estandarrekiko kalkulatu dira, ondorengo formularen jarraituz:

$\delta^{13}\text{C}$ (‰): $[(13\text{Rsample}/13\text{Rstandard}) - 1] \times 1000$, (R = $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ eta estandarra PDB)

Horrela, landare desberdinak jateak dituen kontsumitzaileen gorputz-ehunean $\delta^{13}\text{C}$ balioan eragingo du.

Karbono isotopoak elikadura sarearen bidez lotura dute lehen ekoizleengandik, hauek landare fotosintetizatzaileak dira. Landare gehienak bi taldetan sartzen dira: C3 eta C4 landareak, eta hirugarren talde bat, CAM izendatzen dena. CAM landareek krasuleazeoen metabolismo azidoa erakusten dute eta C3 eta C4 fotosintesi motak erabiltzen dituzte, inguruko baldintzen arabera.

Horrela, karbono isotopoaren analisiak kontsumitutako landareen inguruko informazioa eta elikagaiak zein ekosistematik datozen esaten du, lurreko eta itsas ekosistemen arteko bereizketa eginez. Lurreko dieta baten kasuan, C3 landareak barazki gehienak dira, baita ere, Europako ipar-mendebaldean eta iparraldeko Espainian bezalako eskualde epoletako zuhaitz eta zuhaixka gehienak. Zereal mota gehienak ere C3 motatako landareak dira, garia (*Triticum*), garagarra (*Hordeum vulgare*) eta oloa adibidez. C4 landareak ingurune lehorragoetan hasten dira, hauen artean artatxikia (*Pennisetum*), artoa (*Zea mays*) eta azukre-kanabera (*Succharum officinarum*) ditugu (Smith eta Epstein 1971).

Fotosintesiaren ondorioz karbonoa isotopo pisutsuan txirotua dago. Horrela, C4 landareek C3 landareek baino karbonoan balio aberastuagoak erakusten dituzte, eta $\delta^{13}\text{C}$ balioak ‰ -13 eta -27 artean daude (Epstein, 1971; O'Leary, 1981). Itsas landare guztiak C3 motako landareak dira eta batezbestez $\delta^{13}\text{C}$ balioa ‰7,5 ingurua da, lehorrekoak baino altuagoa izanik. Karbono isotopoaren osaera ere erabil daiteke itsasoko proteinen kontsumoa eta lurreko C3 landareetan oinarritutako dietak bereizteko, baina C4 landareak ditugunean itas eta lurrekoak balioak gainjarri egiten dira (Hoefs, 2009; White, 2015). Karbonoa, soilik ‰1-ean frakzionatzen da kate trofikoan zehar (Ambrose, 1993; DeNiro eta Epstein, 1978; Hedges eta Reynard, 2007; Malainey, 2011). Ur gezako ekosistemetan, landarearen $\delta^{13}\text{C}$ konposizioa aldakorra da eta, ondorioz, ur gezako arrainak $\delta^{13}\text{C}$ balio zabala erakusten dute neurri handi batean (Dufour et al., 1999; Pazdur et al., 1999). Hori dela eta, $\delta^{13}\text{C}$ erlazioak -22 ‰, baino negatiboagoak dira, lurreko C3 landareetan bakarrik oinarritutako dieta baten amaieran dagoen balioa izanik ur gezako arrainen kontsumoa iradokiz.

Gainera, ingurune jakin batean bi landare motak daudenean, C3-landareen eta C4-landareen zenbatekoa kalkulatu ahal izango da. Teknika horien aplikazioa Afrika tropikalean hedatzen ari da orain (e.g. Vogel, 1978; Ambrose eta DeNiro, 1986; Tieszen eta Boutton, 1988). Gainera, karbono isotopoak lurreko inguruneak nolakoak ziren ezagutzea ahalbidetzen du, C3 eta C4 landaretza ekosistemen presentziari buruzko informazioa eta habitat batek duen landaretzaren estaldura mailari buruzko informazioa ematen du (Van der Merwe eta Medina, 1991; Palmqvist et al., 2003; MacFadden et al., 2004; Kohn, 2010). C4 landareak urtaro beroetara egokitzen dira (20°C baino gehiagotan, sistema monzonikoetan), nagusiki ingurune tropikaletan (Bender 1968, Smith eta

Epstein 1971). C3 motatako zuhaitzak ingurune guztietara egokitzeko gaitasuna dute, ingurune tropikal, epel eta borealetara, aldiz, C3 motatako landareak tenperatura epel eta freskoak diren eskualdeak dituzte atsegin, baita hotzak diren altitude handiak (Vogel et al. 1978). Bi landare motak CO₂ atmosferikoko baino ¹³C balio txiroagoak dituzte, eta isotopo sinadura ezberdinak erakusten dituzte. Baso-inguruneetan, gradiente bertikala izan dezakete horrela, δ¹³C konposizioko desberdintasunek erakutsiz, hau kanopi efektu bezala ezagutzen da. (Van der Merwe eta Medina 1991). Kanopi efektua C3 eremu garbietan ere ikusi da, alegia baso oso itxien eta baso irekietan elikatzen diren belarjaleen artean (Drucker et al. 2003; Feranec eta MacFadden 2006; Drucker et al. 2008; Drucker eta Bocherens 2009).

Nitrogeno isotopo egonkorak

Nitrogeno isotopoen balioak animalia-proteinen sarrerarekin islatzen dira eta maila trofikoari buruzko informazioa ematen dute (Lee-Thorp, 2008; Sandford, 1993; Bocherens eta Drucker, 2003). Nitrogeno isotopoak milakotan eta δ¹⁵N balio gisa adierazten dira (‰):

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left[\left(\frac{15\text{R}}{15\text{R}_{\text{estandarra}}} \right) - 1 \right] \times 1000$$
, non $15\text{R} = \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}}$ eta estandarra nitrogeno atmosferikoa da (Mariotti, 1984).

Horrela, lurreko ekosistemen elikagaietatik gorputzeko ehunetara, maila trofikoa handituz ahala δ¹⁵N balioa 2-5 ‰ bitartean (batez beste, 3 ‰) aberastu egiten da (Reynard, 2007; Schoeninger eta Moore, 1992). Lurreko proteina-iturriek δ¹⁵N balioak 5 ‰ -tik 12 ‰ bitartekoak dituzte, aldiz uretatik hartutako elikagaiek balio aldakorrek erakusten dituzte, ur gezako arrainek 12 ‰ -tik 22 ‰ -ra bitarteko

balioak erakusten dituzte eta 7,2 ‰ -tik 16,7 ‰ -ra bitartekoak itsasoko arrainek (Schoeninger eta DeNiro, 1984; Walker eta DeNiro, 1986; Katzenberg eta Weber, 1999; Fuller et al., 2012; Robson et al., 2015). C3 landareak kontsumitzen direnean, nitrogeno isotopoaren analisia karbono isotopoaren analisiarekin konbinatzen da lurreko, ur gezako eta itsas baliabideetatik eratorritako proteinak bereizteko. Kolagenoaren konposizio isotopikoaren interpretazioan kontuan hartu beharreko beste faktore batzuk honako hauek dira: gazikara diren estuarioetako espezieen edo itsas baliabideen kontsumoa (Salazar-Garcia et al. 2014).

Landare eta animalien $\delta^{15}\text{N}$ balioen aldakortasunaren beste arrazoiak, ingurumen baldintza naturalak, hala nola gazitasuna eta ariditatea edo faktore antropogenikoak, esate baterako, ongarririk dira (Bogaard et al. 2007; Fraser et al. 2011; Malainey 2011). Simaurra ongarririk gisa erabiltzea $\delta^{15}\text{N}$ -ren balioen aberastea eragiten du eta, ondorioz, ongarririkutako elikagaiekin elikatutako etxeko animalien $\delta^{15}\text{N}$ balioen aberastea ere. Nola eta konposizio isotopikoa ingurunearen arabera alda daitekeen, tokiko osaera ezartzea beharrezkoa da. Horretarako, oro har, ikertutako aztarnategian aurkitutako paleofauna erabiltzen da. Oro har, gizakien dieta elikagai ezberdinetako isotopoen sinaduraren nahasketa da. Kolagenoen $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioen grafikoak irtenbide bakarra ez duten osagai anitzen nahaste gisa interpretatu daitezke (Schwarcz eta Schoeninger, 1991; Phillips eta Gregg, 2003), baina dietaren osagai nagusiak azaltzen ditu.

Horrez gain, nitrogeno isotopo egonkorraren analisia ere erabili daiteke edoskitzea eta titi-kentze praktikak ikertzeko. Izan ere, umeak $\delta^{15}\text{N}$ balioak amarenarekiko ‰ 2-3 -ko aberastea pairatzen dute (Fogel et al., 1989). Nitrogeno isotopoaren aberastasunaren magnitudea ez da

edoskitze eta titi-kentze praktikak zehazteko bakarrik erabiltzen, baizik eta haurren hilkortasuna aztertze ere erabilgarria da. (Katzenberg et al., 1996; Schurr, 1997; Pearson et al., 2010). Umeen dietan elikagai solidoak sartzea, agian landareetan oinarritutakoak, eta bularreko esnearen faltak elikadura-gabeziaren ondoriozko gaixotasuna eta elikadura estresa eragiten ditu.

Hortzetan aztarna elementuen analisiak LA-ICP-MS metodoaren bidez

Dieta ohiturak aztertze, karbono eta nitrogeno isotopoen osagarri gisa, aztarna elementuen analisiak erabili daitezke. Aztarna elementuen analisisa ez da, halaber, elikadura ezagutza soilik, izan ere osasunaren berri ere ematen baitu.

Funtzio fisiologiko normalak mantentzeko giza dietak dituzten konposatuak dira aztarna elementuak. Hala ere, mikroelementu batzuk arriskutsuak izan daitezke maila handietan, edo, bestetik, desnutrizioa eragin dezakete, txikia denean. Elementu batzuk osasunerako ezinbestekoak diren bitartean (adibidez, Ni, B, Va), beste elementu batzuk funtsezkoak izan daitezke, nahiz eta oraindik beraien eginkizun positiboa ez den baieztatu (e.g. Cr, Co, Cu, Fe, Mo, Mn, Zn etab.) (Kalicinin eta Nikolic, 2008, Chew et al., 2000, Al-Mahroos eta Al-Saleh, 1997). Aldiz, beste elementu batzuk ez dira gizakientzako funtsezkoak, are gehiago, kaltegarriak izan ditzake osasunarentzat (e.g. Al, As, Li, Sn)(1). Gainera, ezaguna da zenbait elementu (adibidez Pb, As, Hg, Cd) toxikoak direla (World Health Organization, 1996). Bestalde, elementu batzuek (lur arraroak, Th eta U) prozesu diagenetikoekin lotura dute, eta hortzaren osagai geokimikoen jatorrizko aldaketa adierazi dezaketeelarik

(Kohn et al., 1999; Longerich et al., 1996). Hala ere, analisisien aukeraketa ikertutako gunearen konplexutasun ekologikoan oinarritzen da, baita arkeologoek dietari buruz eman dezaketen informazioan. Izan ere, pertsona batek hartutako oligoelementuen kopurua dieta ohituraren araberakoa da. Hortzak, esmaltean eta dentinan dauden ia 40 elementuz daude eratuak, eta > 1000 ppm (i.e. Zn, Sr, Fe, Ba) eta <100 ppb (adibidez Ni, Hg, Li) balioak izaten dituzte. Hortzen aztarna elementuen edukiaren aldaketak aurretiaz frogatu dira (Brown et al., 2004). Aztarna elementuek elikagaietan oso zabalduta izateak landare mota eta animalia mota jakin batzuen kopuru erlatiboak karakterizatzeko aukera ematen dute, baita ere landareen eta animalietatik eratorritako elikagaien arteko bereizketa egitea (Gilbert, 1977; Schoeninger, 1979; Price eta Kavanagh, 1982; Sillen eta Kavanagh, 1982; Connor eta Slaughter, 1984; Brown eta Blakely, 1985; Byrne eta Parris, 1987).

Helburuak

Sistema sozial-ekonomikoak historian zehar izan duen dinamika ulertzeko, sistema biologikoa, geokimikoa baino nahasiagoa da. Isotopoen bidezko ikerketek, estrontzio, oxigeno, karbono eta nitrogeno isotope egonkorrak eta analisi kimikoak, hezur eta hortzetan iraganeko biztanlerien nutrizio, bizi historia, dietako baliabideei eta mugikortasunari buruzko informazioa ematen dute. Halaber, identitate berreraiki daitezke jaiotzako eta egoitzaren lekuak karakterizazioaren bidez eta horrela, gizarte dinamikak finkatu daitezke.

Karbono eta nitrogeno isotopo egonkorrak dietari buruzko informazioa ematen digute, aldiz, estrontzio eta oxigeno isotopoak gizakien mugikortasunari buruzko informazioa ematen dute. Gainera, hortzetan aztarna elementuak analizatzeak dietari buruzko informazioa emateaz gain, osasunari buruzko informazio ere ematen du.

Ikerketa honen helburua gizakien hezur eta hortzen isotopoen konposizioaren aldakuntza eta aztarna elementuen analisisen bidez ipar Iberiar Penintsulako landa-komunitate ezberdinen dieta ohitura ezagutzea izan da. Lan honetarako, beharrezkoa da gizabanako lokalak identifikatzea, alegia, ikertutako biztanlerian jaiotako eta bizi zirenak kanpotarretatik bereiztea. Ikerketa hau, Goi Erdi Aroko, VI eta XII. mendeetako, aztarnategi ezberdinetan egin da. Aztarnategi hauek eskualde mugatu batean aurkitze dira baina kultura asko barneratzen dituzten eremu batean kokatzen dira, zeinak inbasio ezberdinak pairatu zituen, eta kultura ezberdinen nahasketa eta paisaiaren eraldaketaren isla den.

Aurkikuntzen laburpena

Lan honetan egindako ikerketaren eta eztabaidaren emaitzak aurkezten dira argitaratutako artikuluen bidez (edo abian). Horrela, artikulua bakoitzari dagokion kapitulua aurkeztu baino lehen, doktore tesiaren buruzko ikuspegi orokorra eman nahi da.

Lehenago eztabaidatu bezala, lan honen helburua, dieta eta mugikortasun ereduetatik abiatuz, Goi Erdi Aroko Ipar Iberiar Penintsulako biztanleria ezberdinen ikerketa izan da. Horretarako karbono, nitrogeno, oxigeno eta estrontzio isotopo egonkorak eta aztarna elementuak erabili dira. Azterlan honek Erdi Aroko ipar Iberiar Penintsulako bizimoduaren ulermena hobetuko du, adibide diakroniko, isolatu eta sozial desberdinetan oinarrituta.

Ikerketa honetan VI. eta XII. mendeen arteko Ipar Iberiar Penintsulako Erdi Aroko kristau eta hilerrri musulmanen giza eskeletoen aztarnak aztertzen dira. Aukeratutako toki arkeologikoak Erdi Aroko eta Ipar Iberiar Penintsulan zeharreko biztanleria ezberdinei dagozkien, garai historiko horretako gizarte antolaketan sakondu ahal izateko. Memoria honek komunitate horien emaitza eta eztabaidak biltzen ditu eta atal bakoitza kasu konkretu batekin bat dator.

Dagoeneko aipatu dugun bezala, azterketa eremua Erdi Aroko Iberiar Penintsulako iparraldean kokatzen da. Erdi Aroaren hasiera Erromatar Inperioaren erorketak definitzen du. Egoera politikoa zein ezegonkortasun soziala, Europako lurraldeetako jendearen mugimendu handiak erraztu zituen, germaniar migrazio gisa ezagutzen direnak.

Migrazio horien benetako eragina eta germaniar eliteen eginkizun historikoa bilatzeko Europan zehar hilobi germaniarretako gizabanakoak ikertu dira. Alabaina, kasu batzuetan Germaniar hilobi-

ondasunik gabe lurperatutako pertsonak izaten dira, "hilerri germaniarrak" deiturikoak ere barne hartzen dituzten egoeretan ere. Horrela, I. kapituluan, "hilerri germaniarrak" denbora luzez markatutako nekazal komunitateen mugikortasun-ereduak ezartzea ahalbidetuko dute eta Erdi Aroan zehar migrazioen presentzia edo gabezia antzematea ahalbidetuko dute. Gune hau Alegria-Dulantzi-n (Araba, Ipar Iberiar Penintsula) dago kokatuta eta VI. eta XII. mendeen arteko hedapena du. Estrontzio isotopo konposizioak aztertu ziren aurkitutako gizabanakoen jatorria zehazteko. Emaitzek erakusten zuten Dulantziko biztanleria, batez ere, bertakoak zirela, atzerriko pertsona batzuekin batera, baina jatorri geografiko zehatza ezartzea ezinezkoa izan da.

Migrazio-zikloak VI. eta IX. mendeetan eman ziren, bi sexuetako gizaki heldu eta gazte kopuru mugatuarekin. Kanpotarre arteko soilik 204 lagina lurperatu zen hilobi-ondasunekin. Datuek zalantzan jartzen dute migrazio handien iradokizunen benetako inpaktua eta Europako beste gune batzuetan egindako isotopo azterketekin bat datoz.

Erromatar Inperioaren kolapsoaren ondoren, jendearen mugimenduaz gain, lurralde antolamenduan eragina izan zuen ere, aldaketa sakonak ekarriz. Iberiar Penintsulako beste toki batzuetan ez bezala, eskualde honetan gotorlekuak ez zuten lurraldea artikulatu. Ipar Kantauriar eskualdean, erromatar ondorengo paisaiak lurralde-zatiketa handia erakutsi zuen, herrixkarik edo landa-egituren gabeziarekin. IX. mendeko baserritarren dentsitatearen ondorioz, benetako herriko sareak sortu ziren. 711. urtean, gainera, musulmanek Iberiar Penintsulako eremu gehienak konkistatu zituzten eta hurrengo zazpi mendeetan mantendu ziren, 1492. urte arte, kristau erresumek penintsula erabat konkistatu zuten arte. Nahiz eta musulmanen okupazioa ia guztizkoa

izan, penintsularen iparraldean, Kantauri mendiaren iparralderanzko lurraldeak kristau araupean jarraitzen zuten (Goi-Marka).

Testuinguru honetan, II. kapituluak eta III. kapituluak ditugu, Iberiar Penintsulako iparraldeko landa-komunitateen bi kasu erakusten dituztelarik. Lehenengo kasuak hilerriaren abandonatzea eta herrixka berriaren sorrera jasan zuen eta bigarrenak elizen berrantolaketa onoriozko hilerriaren erabilpena uztea erakusten du.

II. kapituluak, Las Gobas aztarnategiaren (Burgos, Espainia) kasua deskribatzen da, XII. mendera arte hedatutako harrizko etxebizitzaren eta inguruko baserrietan datza. Isotopoen konposizioa Erdi Aroko landa-biztanleriaren alderdi sozio-ekonomiko desberdinak erakusten ditu. Karbono eta nitrogeno isotopo egonkorrek elikadura ohiturei buruzko informazioa ematen dute, aldiz estrontzio isotopoak bizitegi-mugimenduei buruzko informazioa eskaintzen du. Herriaren eraketaren arrazoa gizabanakoen mugikortasuna izan zen, batez ere, emakumezkoak izan ziren mugitu zirenak, seguruenik ezkontzen bidez. Dieta-ereduei dagokienez, aldi baterako dieta-desberdintasunak antzeman dira Laño herri hurbilenean, baina ez sexuari eta ez adinari jarraiki.

San Juan de Momoitio aztarnategiko (Bizkaia, Ipar Iberiar Penintsula) isotopoen emaitzak aztertzen ditu 3. kapituluak. Hilerria etengabe bertan behera utzi zuten XII. mendearan inguruan, elizaren berrantolaketa dela eta. Azterketa honek aldi baterako dieta-aldaketak erakusten ditu, aztarnategiaren azken estaietan gutxiago dibertsifikatua dagoen dieta erakutsiz. Momoitio hilerriko haurren kopurua ezohikoa da eta haurtzaroren heriotza tasa altuak iradokitzen ditu. Gobas aztarnategiarekin alderatuz, Momoitiok ez du gizabanakoen

mugikortasun handia erakusten, gizabanako gutxi batzuk soilik dira kanpokoak, baina jatorriko tokia ezin izan da identifikatu.

Aldi berean, VIII. mendean, musulmanek Iberiar Penintsulako herri nagusiak konkistatu zituzten, bere lurraldeak kristau erresumenetatik mugatu ziren Goi marka izeneko mugan, Zaragozako erdialdean. Banu Qasi dinastia lurralde musulmanen barruan zegoen eta ia automonoa zen eskualdea izan zen ia bi mendeetan zehar, IX. mendera arte, noiz Kordobako emirrak Banu Qasi lurralde gehienak berreskuratu zituen.

Testuinguru horretan, IV. eta V. kapituluetan Tausteko (Zaragoza) biztanle musulmana ikertu da. Tausteko nekropoliak giza mugikortasuna aztertzeko gunea da. Izan ere, Tauste bi hiririk garrantzitsuenen artean banatu zegoen, Zaragozako (Goiko Markako islamiar metropolia) eta Tudelako (Banu Qasi lurraldearen erdigunea) herrialdeen artean.

IV. kapituluak isotopo analisi klasikoa erakusten du, Erdi Aroko musulmanen palaeomugikortasun eta paleodieta ereduak berreraikitzeko. Tauste Iparraldeko al-Andaluseko mugan zegoen arren, tokiko jatorria zuen biztanleria zuen nagusi eta hiru emakumezko eta bi gizonezko soilik ditugu kanpotarrak. Gizabanakoen jatorria ezartzea zaila da, baina oxigeno isotopoaren arabera, gizonezkoak eskualde beroago batetik etorriko lirateke, aldiz emakumezkoak eremu geografiko menditsuagoa izango lukete. Erdi Aroko musulmanen isotopoen emaitzak sexu eta adinaren arabera dieta ezberdintasunak erakustez gain, ingurune baldintzen eragina islatzen dute. Sexuaren eta adinaren arteko desberdintasunak laborearen sexu-zatiketari loturiko dietak adierazten dituzte, emakume musulmanak etxeko lanetara mugatzen

zituelarik. Horrez gain, dietan ur gezako arrain-sarrera eta ongarrifektua ere ikusi dira.

V. kapituluak aztertzen du hortzen osagaien konposizio kimikoa laser bidezko ablazioa-indukzioz akoplatutako plasma-masa espektrometrora (LA-ICP-MS) isotopoen analisisen bidezko dieta ikerketaren osagarri gisa. Elementu horien kontzentrazioa elikagaien sarrerarekin erlacionatuta dagoenez, elementu biofuntzionalak kontuan hartu dira paleodietaren ereduaren jarraipena egiteko. Konposizio kimikoen aldakuntzak isotopoaren emaitzak baieztatzen ditu, sexuaren eta adinaren arabera dieta ezberdintasunak ikusi direlarik. Zehazki, gizonezko helduek, emakumeak eta gazteak baino animalia proteinek gehiago kontsumitzen zituztela ikusi da, lan sexu-zatiketa edo estatus sozial ezberdina izateagatik. LA-ICP-MS analisia nutrizio ikasketetarako erabiltzeaz gain, osasunari buruzko informazioa eman dezake. Izan ere, Tausteko bost gizabanakok berun intoxikazioa erakusten dute. Hau beruna zuten zeramikak egitearekin lotu daiteke.

Ondorioz, isotopoek edo geokimikek lortutako dieta ereduak kontsumo ohiturak ilustratzen dituzte Erdi Aroko landa inguruetan eta herrietan. Ikertutako nekazari biztanleria kasuak (hau da, Gobas eta San Juan de Momoitio) denboran zeharreko aldaketak erakusten dituzte, baina ez dira sexu edo adinaren arabera ezberdintasun esanguratsuak agertzen. Aitzitik, Tauste-ko biztanle musulmanen artean, sexu eta adinaren arabera, dieta ezberdintasunak antzeman dira. Gainera, edoskitze praktikak, ur gezako sarrerarekin, ongarrien erabilpena eta laneko pozoitzeekin lotutako agerraldiak ere ikusi dira.

Goi Erdi Aroko gizabanakoen mugikortasunari dagokionez, pertsona gutxi batzuk bakarrik mugitu ziren bizitokiz. Emakumeen

mugikortasuna ezkontzeekin lotu daiteke, aldiz gizonezkoak mugitzeko arrazoiak aukera ekonomiko hobetuegia lortzeko desira izango ziren.

Metodologia

Ikerketa hau arkeologi gune ezberdinetako gizaki eskeletoen isotopo egonkor eta analisi kimiko puntualen neurketa bidez egin da. Estrontzio eta oxigeno isotopoak pertsonen bizitegi mugikortasuna ezaugarritzeko erabili ziren, karbono zein nitrogeno isotopoak eta traza elementuak aldiz, biztanleriaren paleodietaren ohiturak osatzeko erabili dira.

Analisiak egin aurretik laginen hautaketa egin zen. Mugikortasuna ikertzeko, ahal izan den neurrian, hortz esmaltea erabili da, dietaren kasuan hezurak aukeratu dira.

Mugikortasunari buruzko ikerketak egiteko gizabanakoen hortz esmaltea hobetsi egiten da, haurtzaroan sortzen diren hortzaren osaera mantentzen delako. Horrela, estrontzio eta oxigeno isotopoen konposizioak haurtzaroan zeharreko jatorriaren osaera erakutsiko du. Bestalde, dieta ikerketak hezurren kolagenoan egiten dira. Hautatutako materialak, ahal izanez gero, saiheutsak eta hezur zatiak izan dira.

Horrez gain, mugikortasun eta dieta ikerketak egin ahal izateko, tokian tokiko isotopo konposizioak ezagutu behar dira. Ur lagin, fauna arkeologiko zein gaur egungoa eta hilerrri inguruko lurzoruaen laginak aztertzen dira, tokian tokiko estrontzio konposizio isotopikoa zehazteko. Ur eta lurzoruen estrontzio isotopoen balioak litologian eragiten dutenez gero, arkeologian isotopoen konposizioa ezartzeko prozedura komuna tokiko arkeofauna aztertzea litzateke (Price et al., 2002; Slovak eta Paytan, 2011). Fauna arkeologikoek gizakiek elikatzen ziren eremu berdinean elikatzen ziren (Price et al., 2002; Bentley, 2006), tokiko isotopo sinaduraren adierazle izanik. Hala eta guztiz ere, abereen erabilera tokiko isotopo konposizioaren adierazle gisa erabiltzea eztabaidatu egin da, animalia hauek gizakien mugikortasun ereduak izan

ditzakeelako (Shaw et al., 2009; Knudson et al., 2012). Aztertutako aztarnategiko estrontzio isotopo erlazioa zehazteko erabiltzen diren materialak dagokien kapituluan zehazten dira.

Gainera, animalien hezur laginak aztertu ziren tokian tokiko karbono eta nitrogeno isotopoen konposizioa ezagutzeko. Aztertutako kasuaren arabera gaur eguneko fauna edo fauna arkeologikoa erabili dira. Izan ere, isotopo konposizio lokala ezagutzea animalia laginik eskura ez izatea arazo larria izan daiteke (adibidez, Tauste aztarnategiaren kasuan, non islamiar errituak gorpuzkiekin objektuak lurperatzea debekatzen du). Bestalde, abereak non elikatu diren ere kontuan izan behar da, izan ere, tokian tokiko konposizio isotopiko ezberdineak agertu daitezke (Oelze et al., 2011). Gainera, egungo fauna baztertu egin behar da, askotan tokikoak ez diren elikagaiak ematen zaizkietelako abereei, ez bat etorritz lekuko isotopo erlazioarekin. Gainera abereak larreekin elikatzeak nitrogeno isotopoen txirotzea erakutsiko du, ongarri mineralen erabilera hedatuaren ondorioz (Bol et al., 2005; White, 2013). Elikagai eta ongarri efektuez gain, abeltzaintza eta transhumantzia beste faktore batzuk daude isotopoen konposizioan.

Laginen aukeraketa

Giza aztarnen laginketa

Azterketa honetan giza eskeletoa erabili da behar ziren analisiak egiteko, horrela izanik beharrezkoak diren baimen guztiak lortu dira. Laginketa Helsinkiko Adierazpenean adierazitako printzipioen arabera egin da. Hezur eta hortz laginak UPV/EHU-ra joan ziren. Gaur egun, honako museoetan daude: Zaragozako Museoan dira Tauste

aztarnategiko laginak, Alegria-Dulantzi eta Las Gobas Arabako Arkeologia Museoan eta San Juan Momoitioko laginak Bizkaiko Arkeologia Museoan, alegia.



1.Irudia. Helsinkiko Adierazpenean adierazitako printzipioekin etikoen arabera egin da giza laginen hautatzea.

Ikerlan honetan erabilitako analisi teknika guztiak aplikatutako analitiko-teknika guztiek suntsitzaileak izan dira, hala ere, laginketa egiterako garaian kontu handia izan da eta ahal izan den neurrian kalte ahalik eta txikiena egin zaio laginari.

Hezurretako kolageno isotopo konposizioa erabili da dieta ikerketak egiteko. Hezur zatiak zireneko kasuetan hautatuak izan ziren analisirako, bestela osorik zeuden hezurretatik zati bat hartu zen. Batez ere saihetsak aukeratu ziren ugariak direlako eta antrologia ikerketetan ez dutelako garrantzirik. Saihetsik ez geneukan kasuetan bestelako hezurak edo garrezurrak erabili ziren. Kolageno kopuru egokia bermatzeko 5 zm-ko hezur zatiak hautatu dira.

Mugikortasun ikerketarako, gizabanako bakoitzeko bi hortzen laginketa egin da estrontzioaren konposizio isotopikoa eta LA-ICP-MS bidezko analisi kimikoa egin ahal izateko.

Beheko molarrak hobetsiak dira gizabanakoaren lehenengo urteen isla direlako eta beraz gizabanakoen bizitoki aldaketak aztertzeko hortz hoberenak direlako. Gainera, molarrak erresistenteagoak dira diagenesi prozesuen aurrean eta lagin kopuru handiagoa dute. Molarrak, aurreko haginak, letaginak edo ebakortzak erabili dira, preferentzia orden hau jarraituz. Gizaki zaharren hortzen garrantzia jakinda, ahal den neurrian, hortz solteak hautatzen dira.

Hortzik ez dugun kasuetan baraila edota barailhezurretik hartu da lagina, beti ere ahalik eta kalte txikiena eginik.

Fauna aztarnaen laginketa

Fauna arkeologikoaren laginak (basasti edota etxeakoak) erabili dira lokala den konposizio isotopikoa finkatzeko. Fauna arkeologikorik ez dugunean aztarnategian gaur gaur egungoa erabiltzen da. Gizakiekin bezala hortz eta hezurak hartu dira analisiak egiteko. Faunaren laginketak gizakiarenak bezalako laginketa behar du.

Lurzoruen eta uren laginketa

Lurzoru eta ur laginak baita ere erabili dira konposizio lokala ezagutzeko. Ur laginketa egin aurretik aztarnategien inguruko geologia ikertu da, izan ere isotope konposizioa geologiarekin bat dator eta

aldakorra da arrokaen konposizio eta adinaren arabera. 250 ml-ko ur laginak ibaien ertzetan hartu dira eta lagin kopurua kasu bakoitzean zegoen geologiaren araberakoa izan da. Lurzoru laginak aztarnategiaren eremu ezberdinetan hartu ziren.



2.Irudia. Ur laginak hartzen.

Laginen prestakuntza

Gizaki eta fauna hartz eta hezurak bainu ultrasonikoen bidez garbitu dira ezpurutasunak kentzeko eta, gainera, urradura mekanikoz garbitzen da kanpoko azalera kentzeko eta kutsadura saihesteko. Laginak ultrasonikoki garbitu ziren ur distilatuaren bitartez, 30 minututara eta ur ultrafikoan garbitu ziren. Prozedura hau behin eta berriro errepikatu zen lagin bakoitzeko ezpurutasun guztiak kentzeko. Hezurak beharrezkoak baino luzeagoak zireneko kasuetan garbitu aurretik moztu egin ziren diamantezko ebaketa diskoarekin.

Analisi isotopikoa egin aurretik lurperatzearen ondoriozko aldaketa posibleak ebaluatu dira. Horrela, Fourier transformatua bidezko espektrometria egin da (FTIR) diagenesiaren ondoriozko aldaketak identifikatzeko eta mineral sekundarioen presentzia dagoen jakiteko (kaltzita, oxidoak eta beste batzuk).

FTIR analisirako 1 mg hezur eta lehenago 100 °C lehortutako 100 mg bromuro potasioarekin nahastu dira (Aldrich 22186-4, FT-IR gradua). Infragorri espektroak 400-4000 cm^{-1} arteko tartea erakusten du, 4 cm^{-1} bereismenarekin eta 40 eskaner pilaketarekin FTIR- 8400S Shimadzu espektrometroa erabiliz. Kristal tamaina kristalinitate indizearen (KI) bidez zehaztu da, alegia $KI = (A_{605} + A_{565}) / (A_{595})$, non A_x uhin-luzera x eko absorbantzia delarik (Shemesh, 1990) eta aurreikusirik 700 eta 500 cm^{-1} artean dagoela oinarri lerro zuzena. Indize hau korrelazionatua dago apatito biogenikoaren kristal tamainarekin, zeinak kristalaren berrantolaketa-maila markatzen duen eta beraz, diagenesia. Kristal handiak eta ordenatuak dituen apatitoak KI indize handiagoa du eta tontorretatik hurrunago kokatuko da (Shemesh, 1990; Wright eta Schwarcz, 1996; Greene et al., 2004).

Isotopoen analisirako laginketa prestatzea

Karbono eta nitrogeno isotopoak

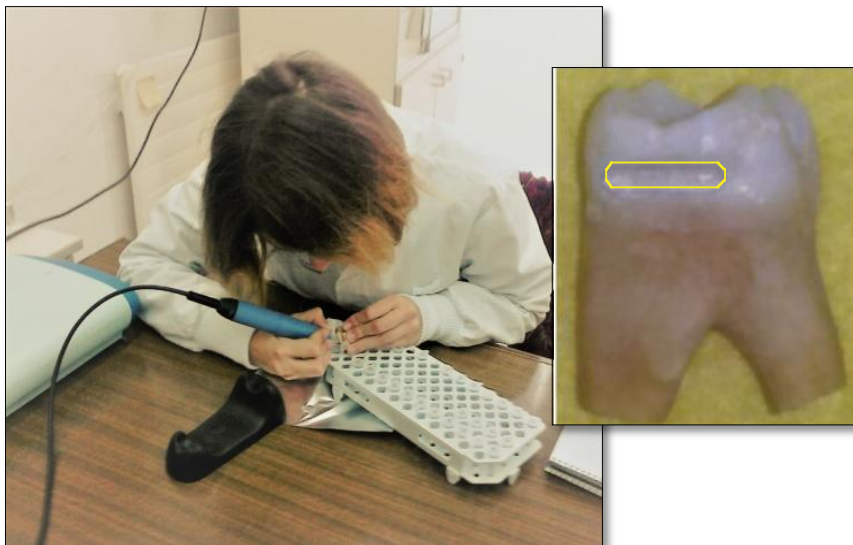
Karbono eta nitrogeno isotopo analisientzako gizaki eta fauna hezur kolagenoa atera da Bocherens et al., (1991) lanean deskribatutako prozedura jarraituz. Lehenbizi garbitu eta birrindutako hezur lagina (300mg) desmineralizatu dira 1M HCl tan 20 minutuz gelako tenperaturan lagina guttiz disolbatu den arte. Laginak ur distilatuarekin

garbitu eta 0,125 M NaOH tratatu zen, azido humikoa kentzeko. Ondoren, ur distilatuarekin garbitu ondoren erauzi gabeko frakzioa pH₃-ko HCl soluzioan gelatinizatu zen 17 h-tan 90⁰C-tan. Ondoren, laginak xiringarentzako filtro iragazkorrak (5 µm) iragazi ziren, izoztuak eta azkenik liofilizatu egin zen. Liofilizatutako kolagenoaren 2,5-3,5 mg erabili ziren analisi isotopikorako.

Karbono eta nitrogeno isotopoen analisiak Iso-Analytical-en (Cheshire, Erresuma Batua) duten fluxu jarraiko isotope erlazio masa espektrometroan (EA-IRMS) egin dira. Neurketa errepikakorrak egin dira NBS-1577B eta amonio sufato estandarrekin (IA-R045) tresneriaren zehaztasuna baieztatzeko. Balio isotopikoa δ sinboloz eta milakotan (‰) adierazita ematen dira, internazionalki definitutako karbono (VPDB: *Vienna Pee Dee Belemnite*) eta nitrogeno (AIR: *Ambient Inhalable Reservoir*) estandarrekiko. Zehaztasun instrumental δ¹³C balioentzat ± 0,06‰ edo hobea izan da, eta δ¹⁵N balioentzat ‰± 0,06 eta ± 0,08 bitartean, determinatuak analizatutako barne estandarren bidez.

Estrontzio isotopoak

Hortz bakoitzetik esmaltea lagindu da. Ekintza honetarako mikro-zulagailu bat erabili izan da (MF-Perfecta, W&H Dentalwerk, Bürmoos, Austria) (Fig). Esmaltearen laginak zaharka hartu dira. Esmalte eta hezur laginak (10mg) 7ml-ko Savillex[®] bialeetan (Minnetonka, MN, USA) disolbatu dira 1,5 ml 2N HNO₃-rekin (kalitate analitikoa sub irakiten distilazio bidez araztua).



3.Irudia. Gizaki eta faunaren hortzetako laginak mekanikoki bildu ziren diamante estalitako zulagailu batekin.

Ura laginak xiringarentzako iragazkiekin iragazi ziren (0,45 μm), partikula esekiak kentzeko. 15 ml ur lehortzen jarri ziren eta, ondoren, 2 ml HNO_3 -tan disolbatu ziren.

Lurzoruaren 1 g alikotak 1M amonio nitratoa (NH_4NO_3) 2,5 ml-koak gehitzen zaio eta 8 orduz uzten da estrontzio bioeskuragarria lortuz. Laginak ondoren zentrifugatu ziren 3000 rpm 15 minutuz, supernatantea erauzi zen ($\sim 1\text{-}2$ ml) eta lehorreraino lurruntzen dira eta, ondoren, 2 ml HNO_3 -tan disolbatzen da berriro.

Soluzioak katioia trukatzeko zutabeetan kargatu ziren Sr.spec[®] (ElChroM industriak, Dariel, IL, AEB), estrontziozko erretxina selektiboarekin (4.Irudia). Erretxina behin erabili zen lagina lortzeko eta

gero baztertu egin zen. Estrontzio hutsune prozedurak 100 pg baino gutxiagokoak izan ziren eta, beraz, ekarpen txikia egin zuen.



4. Irudia. Soluzioak katioia trukatzeko zutabeetan sartu ziren Sr.spec[®] (ElChroM industriak, Dariel, IL, AEB), estrontzio selektiboaren erretxina.

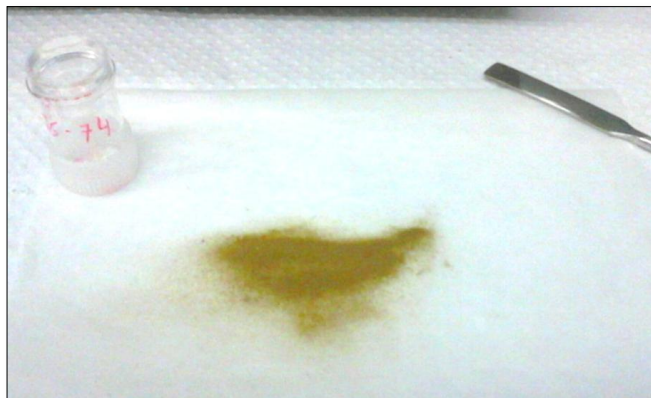
Estrontzio isotopoen laginak induktiboki akoplatutako plasma iturridun bereizmen handiko masa-espektrometroa (MC-ICP-MS, Neptune) eta Finnigan MAT 262 ionizazio termikoaren bidezko masa espektrometroa, Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) (5.Irudia) lkerkuntzarako zerbitzu orokorrek (SGIker) analizatu dute. NBS-987 estrontzio-estandarraren lagin anizkoitzak tresnen zehaztasuna baieztatu zuten. NIST SRM-987 nazioarteko estandarraren azterketa errepikakorra egin zen. Gainera, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ MC-ICP-MSren neurketek kripton (Kr) eta rubidio (Rb) interferentziak zuzendu zituzten.



5. Irudia. Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) Ikerkuntzarako zerbitzu orokorrek (SGIker) tresneria. A. Induktiboki akoplatutako plasma iturridun bereizmen handiko masa-espektrometroa (MC-ICP-MS, Neptune) eta B. Finnigan MAT 262 ionizazio termikoaren bidezko masa espektrometroa.

Oxigeno isotopoak

Oxigeno isotopoen laginen prestakuntza Stephan (2000) lanean deskribatutako prozedura jarraituz egin ziren. 60 mg hortz-esmalte hauts prozesatu egin ziren. Materia organikoa kentzeko 2,5%-ko NaOCl soluzio bat erabili zen 24 h gela-temperaturan eta ondoren 48 h-ko tratamendua 0,125 M NaOH-tan eta giro-temperaturan. Materia organiko gabeko hidroxipatito hautsa 2 ml HF-ekin disolbatu zen 24 orduz. Fosfatozko soluzio eta CaF_2 osatutako hondakina zentrifugazio bidez bereizi ziren, 100 ml beirazko hodi batean pipetuta ziren eta 3 ml 2M KOH-kin neutralizatu ziren. Zilar fosfata (Ag_3PO_4) hauspeazteko 30 ml zilarrezko amida soluzioa (0.2 M AgNO_3 ; 1.16 M NH_4NO_3 ; 0.75 M NH_4OH) gehitu zaio eta 70°C temperaturan 5-6 orduz uzten da. Azkenik fosfatozko kristalak (6.Irudia) filtratu egiten dira 0.2µm iragaziarekin eta garbitu hainbat aldiz ur distilatuarekin eta lehortzen utzi 1-2 ordutan 50°C-tan.



6.Irudia. Prezipitatutako zilarrezko fosfato kristalak.

Oxigeno isotopoak neurtzeko, zilarrezko kapsuletan 0,3 mg Ag_3PO_4 nahastu dira 0,5-1 mg AgCl eta 0,3 mg grafitorekin. Zilarrezko kapsulak oinarritzko konbertsio temperatura analizatzaile (TCEA) batera sartu ziren eta 30 minutuz gasgabetuak 80°C presio hutsean. Oxigeno isotopoen analisiak Parma unibertsitateko Delta Plus XP espektrometro batera loturik dagoen Thermo Finnigan TCEA batekin egin dira (7.Irudia). Konposizio isotopikoa δ -notazioaren bidez eman da, V-SMOW-ari (Vienna-Standard Mean Ocean Water) erlatiboa dena. V-SMOW normalakuntza Energia Atomikoaren Nazioarteko Agentziak (IAEA) emandako nazioarteko erreferentziako material lau erreplikatuetan oinarritzen da: IAEA-601, IAEA-602, IAEA-CH6, eta IAEA-SO-6. Zehaztasun analitikoa $\pm 0,4\text{‰}$ baino hobea izan zen.



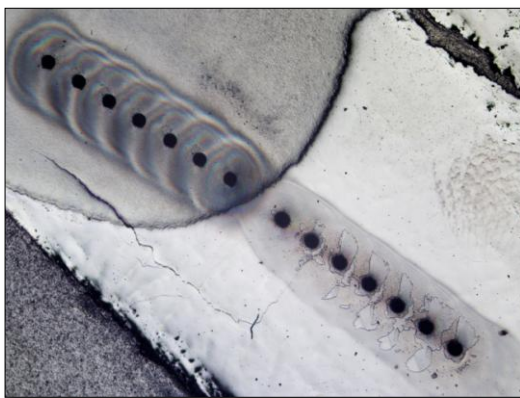
7. Irudia. Parma unibertsitateko Delta Plus XP espektrometro batera loturik dagoen Thermo Finnigan TCEA (Paola Iacumin eta Enrico Maria Selmo doktoreek utzitako argazkiak).

LA-ICP-MS bidezko analisi puntualak

LA-ICP-MS teknika hortzen konposizio kimikoa zehazteko erabiltzen da. Teknika honek lagin solidoen zuzeneko analisia ahalbidetzen du, material kopuru txikia eta gutxieneko laginaren suntsipena proportzionatuz.

Analisi aurretik, hortz-esmaltea eta dentinaren egitura aztertu ziren 15 kV-ko detektagailua barneratzen duen mikroskopia elektronikoa (JEOL JSM-6400) erabiliz,

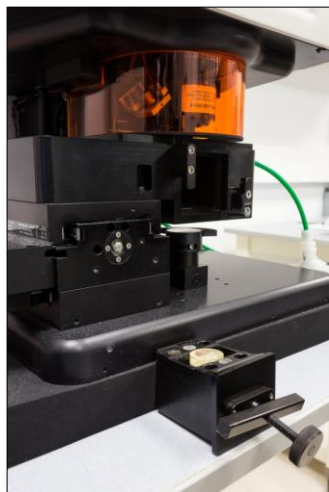
Laginak karbono geruza mehe batez estali ziren. Behaketa hauek Materialen eta Azpiegituren Unitatearen Azterketarako Unitatean egin ziren (SGIker) Euskal Herriko Unibertsitatean (UPV/EHU). Dentina eta hortzaren esmaltean azterketak egin ziren. Hortzetako osagai elementala ppm edo $\mu\text{g/g}$ kontzentrazioa da. Ablazio analisiak eskeletoan antolatutako lekuak izan ziren, esmalteak eta dentina estaltzen zituztenak (8. Irudia).



8. Irudia. Mikroorgazkiak hortzetako LA-ICP-MS laserreko analisiak egindako analisi puntuen kokapena erakutsiz.

Analisiak induktiboki akoplatutako plasma iturridun masa-espektrometroari (Q-ICP-MS, Thermo X7, Xseries2) elkartutako Xt interfaze unitatedun UP213 laser ablazio-sistemaren bidez egin dira (LA-ICP-MS)(9.Irudia). Ekipoaren sentikortasun hobetzeko, bigarren huts bomba bat erabili da sistemaren interfasean. Laser ablazio sistema NewWave Nd:YAG izan da eta 213nm uhinarekin lan egin da. LA-ICP-MS –aren kalibrazioa NIST SRM 612 beira erreferentziaren bidez lortu da (Birbaum et al., 2011; Günther et al., 2001; Herwartz et al., 2013; Kowal-Linka et al., 2014; Kowal-Linka et al., 2015). Neurketak 100 μm

tamainako eremuan egin ziren eta puntu hauen arteko distantzia 300 μm -takoa da. Neurketa bat bukatu eta bestea bat hasten deneko denbora tarte 15s dira. Laser ablazioa 100 μm -tako diametroa duen, 4,5 J/cm^2 azkartasuna, eta 10 Hz-ko errepikapen tasadun laserrarekin egin da.



9. Irudia. Laser-ablazioen sistema, hertz-laginaren kokapena erakutsiz.

Analizatutako elementuak Na, Mg, Al, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Ba, Pb, Th, U eta lur arraroak (La-Lu) izan dira. Datu bilketa *rapid peak-hopping* (5–30 ms) bidez egin da (1.Taula) eta aukeratutako analito bakoitzeko isotopoen arteko denbora tarte 60 s izan da. Analisisiko hasierako 30 segundutan hondoko seinalea bildu da. Laserra 60 segunduz erabili zen eta hauetako 30 seinalea integratzeko erabili ziren. Datuen murrizketa lortzeko, lolite 3 datuak prozesatzeko software eta masa espektrometroaren datuak erabili ziren (Paton et al., 2011; Paul et al., 2012). *Gas blank* -aren hondoko seinalea erabili da analitoaren datuen hondoa kentzeko. Elementuen kontzentrazioa, lolite

3 softwarearekin kalkulatzen den zuzenean, baita definitu daiteke intentsitate integrazio dagoen puntuko hondoaren eta laser bidez analizatutako laginarekin. ^{43}Ca barne estandarra bezala erabili da ablazioaren efizientzian aldakuntza ikusteko, zein eraginda dagoen analizatutako masaren aldakuntzarekin. Barne estandarra matrizearen efektu biderkatzailea zuzentzeko eta garrantzitsuagoa dena, analizatutako hortzen bolumenak duten desberdintasuna zuzentzeko. Kaltzioaren kontzentrazioa hidroxiapatito biogenikoaren estekiometriaren bidez gain hartu da. Aurreikusitako kaltzio edukia 252 mg/g izan da dentinaren kasuan eta 360 mg/g esmaltean (Kohn et al., 1999).

Analizatutako matrizearen (Durango apatitua) batzbestekoa eta desbideratze estandarra % 2-6-ko erreproduzigarritasun analitikoa markatzen du (2. Taula). Analisisien zehaztasuna gainera Durango apatito eta ICP-MS bidezko egindako determinazioak adieraten dute (normalean <5–10%; ikusi 2. Taula). Zehaztasun analitikoa Trotter eta Eggins (2006) lanean emandakoaren antzeko da.

Longerich et al., (1996) oinarritu dira elementu eta analisi puntu bakoitzeko detekzio mugak (LOD) eta S1 dokumentu osagarrian daude ikusgai. Detekzio muga hauek kalkulatzeko erabilitako ekuazioa ondorengo da:

$$OD = \frac{3\sigma_{BCG}}{S_{XY}} \times \sqrt{\frac{1}{N_{BCG}} + \frac{1}{N_{PK}}}$$

non σ_{BCG} ablazio aurreko hondoaren identifikaziorako analisisien erreplikien desbideratze estandarra den; N_{BCG} eta N_{PK} hondo eta seinale tontorren integraziorako erabilitako erreplika determinazioen kopurua,

hurrenez hurren; S cps unitateko normalizatutako sentikortasunaren erreferentzia materialaren kontzentrazioa; y ablazioa errentagarritasun erlatiboaren erreferentzia materiala, zenbaketa intentsitatea neurketa eta estandar integralaren kontzentrazioa ezagunaren arabera zehaztua.

Analisi estadistikoa

Datuak SPSS v.20 softwerra erabiliz aztertu dira (Gizarte Zientzietako Estatistika paketea). Parametro eta ez parametro estatistikak erabiltzen ziren karbono eta nitrogeno isotopoen banaketa deskribatzeko eta taldeen arteko isotopoen balioak alderatzeko. Horrela, lagin talde ezberdinak determinatu dira populazioen arabera lkasle T-test edo Mann-Whitney U testa erabili da. Bigarrena t probetan zehar hautatua izan zen, lagin tamaina txikiengatik, taldeen arteko laginaren tamaina inportazioaren desberdintasunak eta bariantzen arteko heterogeneotasunarengatik. Hipotesi nulua dioenez, ez dago bi laginen arteko aldea. Probabilitate-maila % 5 zen esanguratsua hipotesi nulua uko egiteko. Estadistika esanguratsua $p < 0,05$ denean finkatu da.

Gainera, oxigenoaren eta estrontzio isotopoen banaketa deskribatzeko parametro estatistikoak ere erabili ziren eta lagin-taldeen arteko isotopoen balioak alderatu. Neurketetan oinarritutako laginaren aldakuntza atipikoen mugak zehazteko, honako definizio hauek definitu dira: ± 2 desbiderapen estandarra (2SD) batez bestekoa eta Tuke interquartile barrutiaren metodoa (IQR) kontuan hartuta $1,5 \times \text{IQR}$ eta $3 \times \text{IQR}$ (Lightfoot eta O'Connell, 2016).

LA-ICP-MSk lortutako hortzetako ehunen konposizio kimikoaren matrize korrelazioak hortzen aztarna elementu edukien arteko

Metodologia

desberdintasunak bereizteko egin ziren. Gainera, hortz-lagin guztien osagai nagusien analisi muktibariantea (PCA) egin da hortzen eta hortzen ehun ezberdinen arteko bereizketa egiteko.

I. Kapituluua:

Dulantzi aztarnategia

“Estrontzio isotopoak San Martin de Dulantzi hilerriko (Alegria-Dulantzi, Alaba) gizakien eta biztanleriaren ikertzeko mugikortasuna Goi Erdi Aroan zehar”

Quaternary International 2013, 303: 54-63

Laburpena

San Martin de Dulantzi hilerriko gizaki aztarnetan estrontzio isotopoen analisiak egin dira Goi Erdi Aroan zeharreko mugikortasun patroiak zehazteko. Gizakietako batzuk germaniar jatorria erakusten duten hatuak zituzten. Estrontzio isotopo erradiogenikoen analisiaren bidez, bertakoak edo etorkinak diren bereiztu daiteke. Gizaki hezur arkeologikoen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70779-0,70802$ arteko balioak erakusten dituzte, fauna domestikoaren antzeko konposizioa, lekuko jatorria edo denbora asko zeramatzatela eskualdean islatuz. Datu hauek esmaltearekin alderatzean etorkin bi talde bereizten dira eta aldi berean ingurune geologiko ezberdinekoak direla ere. Dulantzi herriko biztanleria nagusiki lokala da, etorkinen noizbehinkako etorrerarekin. Kanpotarrak diren gizabanakoak ikertutako denbora tarte osoan zehar banatuta daude, migrazio mugimenduak indibiduo kopuruan mugatuak zeudela proposatuz. Sinadura isotopikoek zalantzan jartzen dute aurretiko paradigma etnikoa. Izan ere, nagusiki gizabanako lokalek dute jatorri germanikoa duten hatuak.

Sarrera

Goi Erdi Aroan zehar germaniar migrazioek Erromatar Inperioaren desegituraketa eta Erromatar gizartearen eraldaketan izan zuten paperaren interesa berpiztu egin da azken hamarkadetan, analisi teknika berrien aplikazio eta orokortzeak interpretazio-esparruak eraldatu bait ditu. Azken urteetan egindako berrikusketek ikertzaile batzuei Germaniar migrazioen eragina ukatzera eraman zien, beste aldetik ordea Europa erdialdeko ikerlariak etnogenesiaren paradigma berrikustera eta gertakari historiko sistemikoen eraldaketa prozesuak berriz definitzera eraman zituzten (Pöhl, 1998; Gillett, 2006; Castellanos, 2007; Hakenbeck, 2008; Heather et al., 2010; Hakenbeck, 2011; James, 2011). Hala ere, Europa hegoaldeko arkeologiak ez dute iritziz aldatu, Germaniar migrazioek zuten papera nabarmena zela mantenduz (Valenti, 2009). Honek historizismo kulturalaren efektua azaltzen du, zeinak talde etnikoak definitzen duen subjektu historiko bezala kultura materialean oinarritzen da, horrela objektuen banaketa espazialaren arabera migrazioen mugimenduak identifikatzen laguntzen diguten. Beraz, hilerrietan aurkitutako hatuak eta beste markatzaile batzuk, arkitekturak eta objektuak kasu, etorkinak identifikatzea ahalbidetzen dute (Brogiolo eta Chavarria Arnau, 2008).

Azken urteetan, Europa mailan hainbat ikerketa proiektu hasi dira Germaniar eliteen migrazio eta eragin historikoa egiaztatzeko nahian. Ikerketa hauetarako estrontzio isotopo analisiak egiten dira gizakiek utzitako aztarna arkeologikoetan, zehazki Germaniar hatuak erakusten dituzten gizakietan. Halaere, ikerketa hauek ez dira baliotsuak Germaniar haturik gabeko gizabanakoetan, eta hauek izaten dira kasu gehienak, "Germaniar hilerriak" deritzenak (Quirós Castillo eta Vigil-

Escalera, 2011). Hala ere, epe zabaleko “Germaniar hilerridun” biztanlerian egindako ikerketek mugimendu patroiak ezagutzera ahalbidetuko du, baita Erdi Aroko migrazioen presentzia edo gabezia.

Estrontzio isotopoen bidezko ikerketak giza migrazio ikerketa ohikoa bihurtu dira azken urteetan. Garai eta leku askotariko giza aztarnak aztertu dituzte arkeologia metodo honen baliagarritasuna erakutsiz. Ikerketa hauek Anasazi Arizona (Price et al., 1994b; Ezzo et al., 1997; Ezzo eta Price, 2002), Hego Afrikako Harri Aroa eta garai historikoa (Sealy et al., 1991, 1995; Sealy, 2006), Alemaniako hegoaldean Neolitikoa (Price et al., 1994a, 1998; Grupe et al., 1997; Grupe et al., 1999; Price et al., 2001; Bentley, 2003; Bentley et al., 2003, 2004; Bentley eta Knipper, 2005), garai klasikoa Mexikon (Price et al., 2000), Hego Amerikako Andeetan garai aurre-hispaniarra (Knudson et al., 2004, 2005; Knudson, 2008; Knudson eta Torres-Rouff, 2009; Knudson et al., 2009), Eskozia eta Irlanda Ipar-ekialdeko kolonia Eskandinaviarrak (Montgomery et al., 2003, 2005; Knudson et al., 2012), mugimendu erromatarra Ingalaterran (Eckardt et al., 2009; Chenery et al., 2010, 2011; Mueldner et al., 2011) eta herri Eskandinaviarrak (Frei et al., 2009; Frei eta Price, 2012) egin dira.

Estrontzioa ekosistema bereko arroka aman, lurpeko ur, lurzoru, landare eta animalietan kontzentrazio aldakorren agertzen da. Nahiz eta maila trofikoaren arabera estrontzioaren konposizioa aldakorra izan organismoen artean, estrontzioaren konposizio isotopikoak ez du aldaketarik jasaten fenomeno honen aurrean (Burton, 1996; Hoppe et al., 1999; Blum et al., 2000; Balter et al., 2001, 2002; Hoppe et al., 2003; Balter, 2004; Faure eta Mensing, 2005; Hoppe eta Koch, 2007). Aldiz, arroka ama, lurzoru, ur, landare eta animalietan estrontzio

erradiogenikoaren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazio isotopikoa aldakorra da. Estrontzio isotopoaren erlazioa aldakorra da arroka amaren konposizio kimiko eta adinaren arabera (Dickin, 2005; Faure eta Mensing, 2005). ^{87}Sr erradiogenikoa rubidioaren desintegrazio erradioaktiboaz sortzen da, eta arrokaaren adinak eta jatorrian zuen rubidioaren kantitateak mugatuko dute ^{87}Sr kantitatea arrokan, eta beraz $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioa isotopikoa (Faure eta Powell, 1972). Eskualde bateko landareek, animaliek, lurpeko urek, eta baliabide horietaz elikatutako gizakiek erakutsiko duten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio isotopikoa arroka amaren isla izango da (Price et al., 2002; Bentley, 2006; Malainey, 2011) ez baita prozesu biologikoei loturiko frakzionaziorik ematen (Graustein, 1989; Capo et al., 1998; Blum et al., 2000). Hezur eta hortzek osatzen duten hidroxiapatitoaren egituran kaltzioa ordezkatzu kokatzen da estrontzioa. Gizakien hortzen esmalte eta hezurretako $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazio isotopikoak bizitzan zehar elikatutako ur eta janariaren konposizio isotopikoa islatuko du (Ericson, 1985, 1989; Price et al., 1994a, 1994b). Eskualdeko elikagaiak jaten dituen eta eskualde geologiko konkretu batean bizi den gizakiaren hezur eta hortzek bizi zen eskualdeko $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioa isotopiko islatuko dute. Gainera, esmalteak hezurrekin alderatuz ez dute beste elementurik barneratzen hartzaroan sortu ondoren (Hillson, 1986, 1996) eta esmaltearen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazio isotopikoak hartzaroan bizi izan zen eskualdearen konposizioa islatuko du. Aldiz, hezurak etengabe hartzen dute estrontzioa (Parfitt, 1983; Smith, 1991), horrela $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioak bizitzako azken urteak islatuko ditu.

Ikerketa honen helburua estrontzio isotopoaren konposizioaren bidez Ipar Iberia Penintsulako Goi Erdi Aroko (VI-X. mendeak) nekazal komunitateen mugimendu pautak ikertzea eta etorkinen presentzia

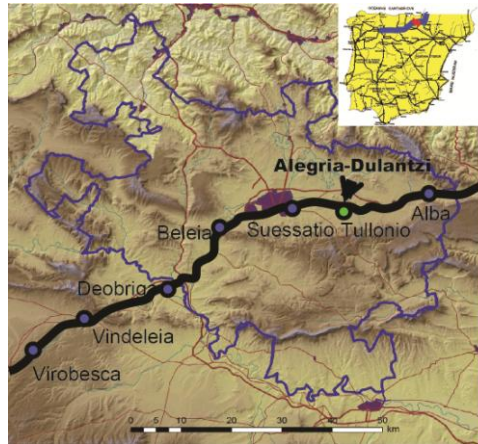
antzematea izan da. San Martin de Dulantziko aztarnategia ikertu da non, hatuak dituzten eta ez dituzten gizabanakoak ditugun.

San Martin de Dulantzi aztarnategia

Alegria Dulantzi Alabako probintzian kokatzen da (Espainia iparraldean). Dulantzi herria 1337. urtean Alfonso XI eraiki zuen, eta XI. mendetik aurrera dokumentuetan azaltzen da. Tullonium hurbil kokatzen da, Varduli herrietako bat Ptolemyk aipatua eta Antonino ibilbidean aipatua (Gurruchaga, 1951) (1. Irudia). Iter 34 ab Asturica Burdigalam ibilbidean kokatua dago, erromatar bide garrantzitsua zen hau eta Lisboa-Madril-Irun-Boudeaux errepidea nagusiari dagokio.

San Martin de Dulantziko tenpluaren inguruan 2009 eta 2010. urteen artean egindako indusketek historia aurretik Erdi Arora bitarteko egonlekua identifikatu dute (2. Irudia). Hala ere hileta-egonleku handiena VI. eta XII. mendeen artean dugu, eliza eta etxe egiturei lotuta (Loza Uriarte eta Niso Lorenzo, 2011; Loza Uriarte eta Niso Lorenzo, 2012). Brontze Aro eta Antzinaroko bi egonleku faseen ondoren, V. mendean eremu osoa ehorzketa sektore bat bihurtu zen (3. Fasea). VI. mendean eraikuntza berri bat eraiki zen, bataiotegia eta hilerrria zuen eliza pribatua zela interpretatu da (4a. Fasea) VII. mendera arte hilerrri pribilegiatua ere zuen (4b. Fasea). Hemeretzi hilobiratze daude eliza, eta eliza eta bataiotegiaren arteko eremuan, zeinak fase honi dagozkien. Hilobiratze hauetatik bederatzik hatuak erakusten dituzte, besteak beste armak, zeramika eta apaingarriak pertsonalak. Objektu hauek Euskal Herriko beste gune batzuetan ere aurkitu daitezke eta antzekotasun gehiago erakusten dituzte Galiako aztarnategi arkeologikoekiko Iberiar Penintsulekiko baino. 700 K.a. inguruan, okupazioa trinkoagoa izan zen,

non ehorzketak elizaren kanpoan egiten hasi ziren eta ehorzketa hauek ez zuten haturik erakusten (5. Fasea). X-XII. mendeen artean (6. Fasea) elizaren barnean silo handiak eraiki ziren eta hilobiratzeko ere erabiltzen jarraitu zen. Lan honetan ikertutako gizabanakoak 3, 4 eta 5. Faseetakoak dira eta, V. eta X. medean artean datatuak daude (1. Taula, 3. Irudia).



1. Irudia. Aztarnategiaren eta Araba probintzian zeharreko ITER 34 ab Asturica Burdigalam ibilbidea eta estazio ezberdinen kokapena. Txertatutako mapak erromatar bideak ilustratzen ditu (Solana Sáinz eta Sagredo San Eustaquio, 2006).



2. Irudia. San Martin de Dulantziko elizaren eta nekropoliaren mapa, laginen kokapenareki.

1. Taula. Alegria-Dulantziko estrontzio isotopo analisien emaitzak.

Lagina	Materiala	Hortz mota	Fasea	14C datua	Adin	Sexu	Hatua	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
218	hezurra		3	1580±30	Ga	Zeha		0,707905 ± 12
181	dentina	M2	4a	1626±37	GaH	E		0,707948 ± 18
181	esmaltea	M2	4a	1626±37	GaH	E		0,708547 ± 9
184	hezurra		4b		GaH	G	Y	0,707793 ± 6
187	hezurra		4b		GaH	G	Y	0,707921 ± 12
190	hezurra		4b	1365±32	Ga	E	Y	0,707901 ± 8
196	saihetsa		4b		H	E		0,707887 ± 10
197	dentina	M2	4b	1490±30	GaH	G	Y	0,707896 ± 12
197	esmaltea	M2	4b	1490±30	GaH	G	Y	0,707946 ± 25
198	hezurra		4b	1441±41	GaH	G		0,707892 ± 6
199	hezurra		4b		GaH	G	Y	0,707889 ± 11
202	hezurra		4b		GaH	G		0,707918 ± 7
203	hezurra		4b		H	G	Y	0,707873 ± 7
204	dentina	M2	4b	1417±35	H	G	Y	0,708068 ± 18
204	esmaltea	M2	4b	1417±35	H	G	Y	0,708509 ± 16
206	dentina	M2	4b		H	G		0,707902 ± 11
206	esmaltea	M2	4b		H	G		0,708008 ± 22
207	hezurra		4b		U	Zeha		0,708014 ± 15
208	hezurra		4b		GaH	G		0,707858 ± 6
209	saihetsa		4b		H	G		0,708019 ± 6

1. Taula. Jarraipena. Alegria-Dulantziko estrontzio isotopo analisien emaitzak.

Lagina	Materiala	Hortz mota	Fasea	14C datua	Adin	Sexu	Hatua	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
210	dentina	M3	4b		GaH	G		0,707975 ± 9
210	esmaltea	M3	4b		GaH	G		0,709157 ± 26
211	dentina	M1	4b		GaH	Zeha		0,708199 ± 14
211	esmaltea	M1	4b		GaH	Zeha		0,709196 ± 25
212	hezurra		4b	1520±30	H	G	Y	0,707882 ± 12
215	saihetsa		4b		H	G		0,707915 ± 6
216	dentina	M3	4b		GaH	E		0,707966 ± 14
216	esmaltea	M3	4b		GaH	E		0,708061 ± 12
14	dentina	M3	5	1150±31	GaH	G		0,707978 ± 10
14	esmaltea	M3	5	1150±31	GaH	G		0,707925 ± 11
43	dentina	M2	5		H	G		0,708008 ± 10
43	esmaltea	M2	5		H	G		0,708053 ± 15
63	hezurra		5		GaH	E		0,707879 ± 6
72	dentina	M2	5	1237±31	GaH	E		0,708058 ± 15
72	esmaltea	M2	5	1237±31	GaH	E		0,708445 ± 21
83	hezurra		5	1342±36	GaH	E		0,707858 ± 6
87	hezurra		5		GaH	E		0,707846 ± 7
90	hezurra		5	1273±36	U	Zeha		0,707870 ± 6
168	saihetsa		5	1198±36	GaH	E		0,707901 ± 7
188	hezurra		5	1189±33	GaH	G		0,707922 ± 8

1. Taula. Jarraipena. Alegria-Dulantziko estrontzio isotopo analisien emaitzak.

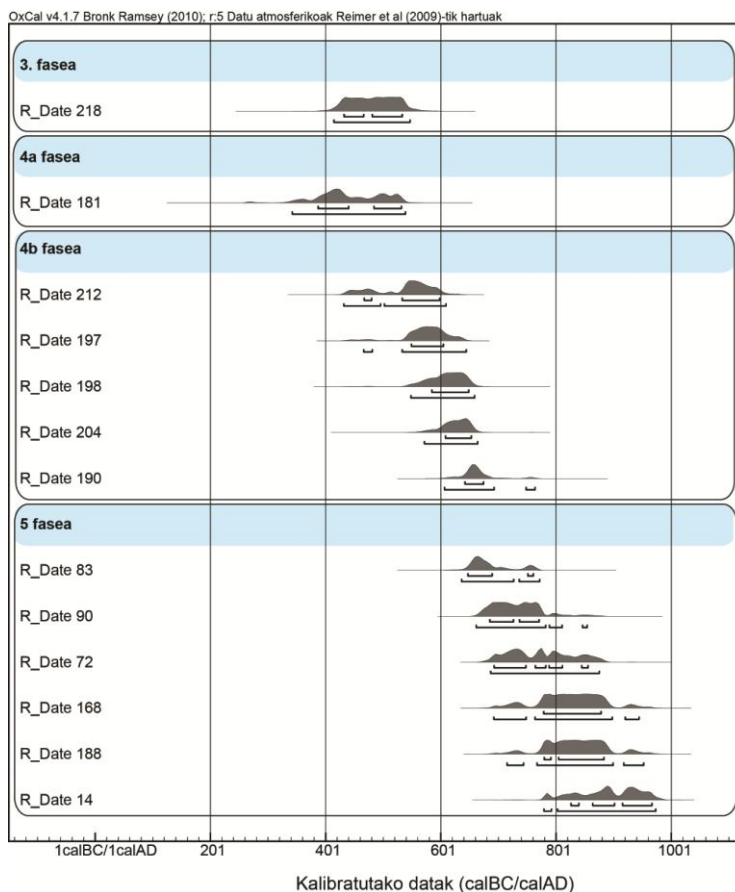
Lagina	Materiala	Hortz mota	Fasea	14C datua	Adin	Sexu	Hatua	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
188	dentina	M2	5	1189±33	GaH	G		0,707970 ± 12
188	esmaltea	M2	5	1189±33	GaH	G		0,709129 ± 24
12	hezurra		6		GaH	G		0,707800 ± 7
81	hezurra		6		H	E		0,707818 ± 7
83-C	sedimentua							0,707753 ± 6
83-D	sedimentua							0,707790 ± 12
190-C	sedimentua							0,707724 ± 7
190-D	sedimentua							0,707714 ± 8
218-C	sedimentua							0,707718 ± 6
218-D	sedimentua							0,707735 ± 8
102-B	behia (hezurra)							0,707916 ± 11
161-BM	behia (hezurra)							0,707935 ± 8
161-BE	behia (esmaltea)							0,707936 ± 10
241-S	txerria (esmaltea)							0,707889 ± 7
241-OV-T	ardi/ahuntza (hezurra)							0,707878 ± 9
241-OV-P	ardi/ahuntza (hezurra)							0,707898 ± 6
241-OV-M	ardi/ahuntza (hezurra)							0,707890 ± 8

1. Taula. Alegria-Dulantziko estrontzio isotopo analisien emaitzak. Jarraipena.

1. Taula. Jarraipena. Alegria-Dulantziko estrontzio isotopo analisisien emaitzak.

Lagina	Materiala	Hortz mota	Fasea	14C datua	Adin	Sexu	Hatua	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
241-OV-E	ardi/ahuntza (esmaltea)							0,707820 ± 8
241-SM	txerria (esmaltea)							0,707865 ± 9
246-OV	ardi/ahuntza (hezurra)							0,707829 ± 12
246-S	txerria (esmaltea)							0,707916 ± 7

Zehaztutako azken digituetarako zehaztasun zehatza (2 segundo).G: gizon, E: emakume, Zeha: Zehaztugabea, U: Umea, Ga: Gaztea, GaH: Gazte heldua, H: Heldua.



3. Irudia: 3, 4a, 4b eta 5. Faseko hilobiratzeei dagozkien kalibratutako datak (Quirós Castillo et al., in press; OxCal v4.1.7 (Bronk Ramsey, 2009) bidez lortuak eta IntCal09 data atmosferikoak erabiliz (Reimer et al., 2009).

Okupazio sekuentziaren datazioa erlazio estratigrafikoen, material arkeologiko eta hilerritik berreskuratutako gizaki hezurretan egindako karbono-14 bidezko 19 datazio erabili dira. Neurketak ohiko ^{14}C zenbaketa bidez egin da, Rocasolano Kimika Fisika Institutuan, CSIC-Madril. Halaber, estrontzio isotopo analisiak ere egin dira aztertutako hamabi gizabanakoetan.

Materialak

Ikertutako gizabanakoak 33 izan dira (16 emakume, 10 gizon eta 7 determinatu gabeak). Haur bat izan ezik besteak gizabanakoak helduak/zaharrak dira. 4. Faseari dagozkien gizabanakoetako batzuek hatuak erakusten dituzte, besteak beste apaingarri pertsonalak, armak eta beste objektu batzuk (1. Taula). Eskuragarria den estrontzioaren konposizio isotopikoa determinatzeko etxeko animaliei dagozkien 11 lagin ere analizatu dira (txerri, behi eta ardia/ahuntza).

Guztira 22 hezur eta 11 hortz analizatu dira. Posible izan denean gizabanako beraren hezur eta hortza analizatu dira, baina kasu batzuetan gizabanakoen kontserbazio baldintzak okupazio sekuentzia moztu edo kaltetu egin dute laginketa estrategiari eraginik. Hortz bakoitzetik bi frakzio atera dira, esmaltea eta dentina. Ekintza honetarako mikro-zulagailu bat erabili izan da (MF-Perfecta, W&H Dentalwerk, Bürmoos, Austria). Hezurak diamantedun disko batekin moztu dira eta kontu handiz garbitu dira bainu ultrasoinuko bidez. Aleak 30 minutuz ur distilatuz eta ur ultrapuruarekin garbitu dira ondoren. Prozesu hau lau aldiz errepikatu da lagin bakoitzeko. Anlisi isotopikoa egin aurretik lurperatzearen ondoriozko aldaketa posibleak ebaluatu dira.

Fourier transformatua bidezko espektrometria egin da (FTIR) diagenesiaren ondorioz mineral sekundarioen presentzia dagoen jakiteko (kaltzita, oxidoak, eta beste batzuk) eta beraz, aldatuta dagoen jakiteko. Inguruko konposizio isotopikoa determinatzeko hilerriko hiru sedimentu lagin analizatu dira. Bi lixibiatu ezberdin egin ziren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazio isotopikoaren disolbagarriena zehazteko. Disoluzio hauetan erabilitako azidoek ez dute silikato eta beste mineral erregogorrek disolbatzen, landareek hartzen duten eta kate trofikoan sartzen den Sr-

aren konposizioa determinatzea ahalbitzen duelarik. (Schweissing eta Grupe, 2003). Estrontzio hau da mugikorrena den frakzioa. Sedimentu lagin bakoitzeko 10 mg hartu dira eta bi alikuota ezberdin egin dira. Laginak 15 ml PFA boteletan pisatu ziren ultra garbia den gela batean. Lehenengo alikuota 2 ml 0,1 N azido azetikoarekin egin da, bigarrena aldiz 2 ml 6 N azido azetikoarekin gehituz.

FTIR analisirako 1 mg hezur eta lehenago 100 °C lehortutako 100 mg bromuro potasioarekin nahastu dira (Aldrich 22186-4, FT-IR grade). Infragorri espektroak 400-4000 cm^{-1} arteko tartea erakusten du, 4 cm^{-1} bereismenarekin eta 40 eskaner pilaketarekin FTIR- 8400S Shimadzu espektrometroa erabiliz. Kristal tamaina kristalinitate indizearen (KI) bidez zehaztu da, alegia $KI = (A_{605} + A_{565}) / (A_{595})$, non A_x uhin-luzera x eko absorbantzia delarik (Shemesh, 1990) eta aurreikusirik 700 eta 500 cm^{-1} artean dagoela oinarri lerro zuzena. Indize hau korrelazionatua dago apatito biogenikoaren kristal tamainarekin, zeinak kristalaren berrantolaketa-maila markatzen duen, eta beraz diagenesia. Kristal handiak eta ordenatuak dituen apatitoak KI indize handiagoa du eta tontorretatik hurrunago kokatuko da (Shemesh, 1990; Wright eta Schwarcz, 1996; Greene et al., 2004).

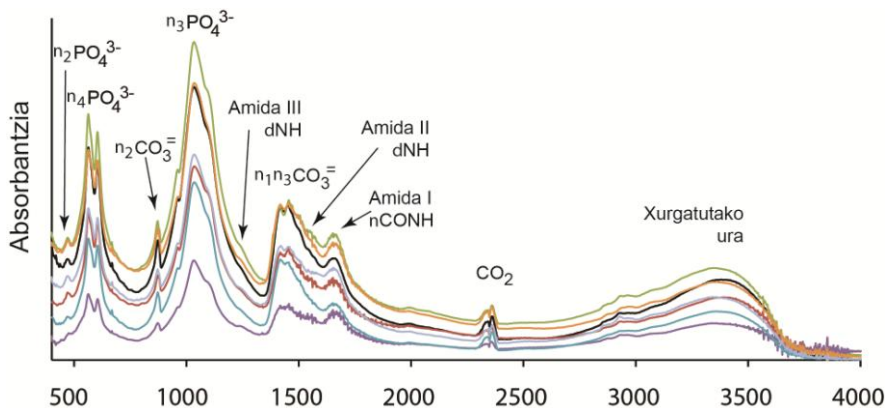
Ionizazio termikoko masa espektrometroan laginak neurtu ahal izateko hezur (5-10 mg) edo esmaltea (1-2 mg) lagina pisatu dira 15 ml-ko PFA Savillex boteletan eta laginak disolbatuak izan dira 1 ml HNO_3 2N -arekin (analytical grade purified by sub-boiling distillation). Estrontzio erretxina espezifikoko katioi-trukea ematen den zutabeetan kargatu ziren disoluzioak (EiChroM industries, Dariel, Illinois). Erretxina behin erabili zen lagina lortzeko eta ondoren baztertu egin zen. Estrontzio prozedurazko hutsuneak (<100 pg) ekarpen txikia eman zuten. Lortutako

estrontzioa reniozko filamentuetan kargatu da TaF -rekin eta Birck (1986) lanean proposatutako metodoa jarraitu da. Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) Finnigan MAT 262 ionizazio termikoaren bidezko masa espektrometrorekin egin dira neurketak. NBS-987 estandarren hainbat lagin erabili dira tresneriaren zehaztasuna frogatzeko. Analisisien kanpoko doitasuna NBS-987 -ko 206 analisisiekin oinarritu da eta 0,00002 (2σ) izan da. NBS-987 analisiak $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0,710279 \pm 12 ($2 s$, $n = 4$) eman du.

Ezberdintasun estadistikoak dauden antzemateko "Student" T testa egin da. Onartzen den ezberdintasun estatistikoa $p < 0,05$ da. Analisisi estatistikoa SPSS v.20 programarekin egin da (Gizarte Zientzien estatistika-paketea).

Emaitzak eta Eztabaida

Hezur laginen espektro infragorriak A eta B pozizioetan CO_3 dun apatito sintetikoaren absorbantziaren ezaugarri antzekoak erakusten ditu (Bonel, 1972). FTIR espektro guztiak H_2O bandak karakterizatuak daude, zeinak 3567 cm^{-1} OH banda ezkututzen duten eta hiru amida taldeen bandaen presentzia dagoen: amida I 1660 cm^{-1} , amida II 1550 cm^{-1} , eta amida III 1236 cm^{-1} . Absorbantziak 1035 cm^{-1} [PO4 (v3)], 962 cm^{-1} [PO4 (v1)], 605 cm^{-1} eta 565 cm^{-1} [PO4 (v4)] tipikoak dira fosfatoan eta, 1455 cm^{-1} eta 1419 cm^{-1} [CO3 (v3)], 871 cm^{-1} [CO3 (v2)] apatito biologikoaren karbonatoaren ohikoak dira (4. Irudia).

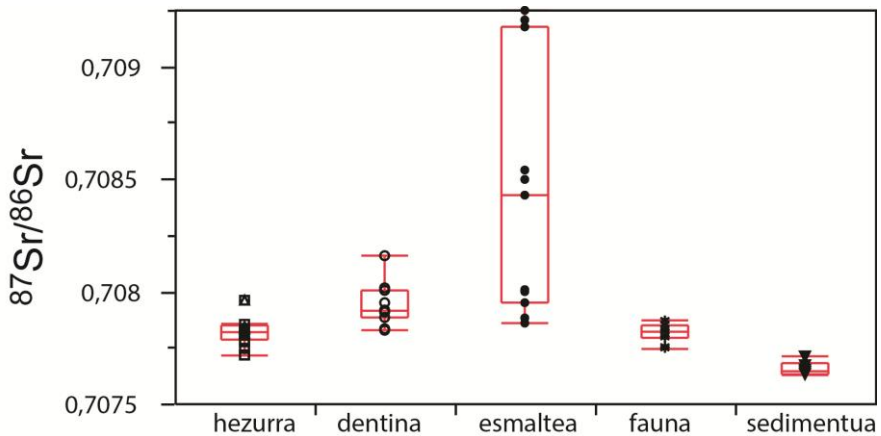


4. Irudia: Alegria-Dulantziko hezur laginetan egindako Fourier Transformatuaren Infragorri Espektroskopia (FTIR) bidezko espektroa. Tontor, banden esleitzea Reyes-Gasga et al. (2008) lanaren arabera egin da.

Kristalinitate indizea (KI) 2,18 eta 2,89 bitartean dago, 2,47 media, hezur modernoetan neurtutako KI (3,1) baino baxuagoa, adieraziz hezurak birkristalizatuak daudela (Wright eta Schwarcz, 1996; Keenleyside et al., 2009). 713 cm^{-1} banda ez agertzeak kaltzita autigenikoa ez dagoela adierazten digu, aldaketa diagenetiko eza adieraziz.

Mineral/matrize gailurrak (A900-1200/A1585/1720) Boskey et al. (2003) bat datoz eta hasiberriak diren prozesu diagenetikoaren ebaluaketarako erabili daitezke ere. Mineral/matrix erlazioaren tarte 2,74 eta 5,06 da, non batzbestekoa 3,94, erakutsiz kolageno kantitate handia hezurretan. Amida II eta amida III banden presentziak kolagenoaren hondatze maila baxua markatzen du, eta aldaketa kimiko esanguratsuaren eza. Ezaugarri guztiak horiek adierazten dute hezurretan prozesu diagenetikoak ez dutela eraginik izan (Shemesh, 1990; Greene et al., 2004; Abdel-Maksoud eta Abdel-Hady, 2011).

Sr isotopoaren analisisen emaitzak 1. Taula ikus daitezke. Hezurren, dentina eta esmaltearen balioak giza hezur, dentina eta esmaltearen; sedimentu eta animalien (behia, txerria eta ahuntza/ardia) konposizio tartea 5. Irudian daude. Gizakien hezurren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopo erlazioaren tartea 0,707793 eta 0,708019 da, non dentinaren balioak pixkat erradiogenikoagoak diren, 0,70789-0,708199 bitartean. Esmalteen kasuan, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazio isotopikoaren tartea zabalagoa da, 0,707925-tik 0,709196-ra. Etxeko animalien $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ konposizio isotopikoa gizakien hezurren balioaren antzekoa da, 0,707820 eta 0,707936 bitartean, baina sedimentuek ez hain erradiogenikoak diren balioak erakusten dituzten, 0,707714-0,707790 bitartean.



5. Irudia. Ikertutako materialen bariazio isotopikoa erakusten duen diagrama.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopo erlazio lokala definitu beharra dago mugikortasun berreraikuntza egiterako garaian.

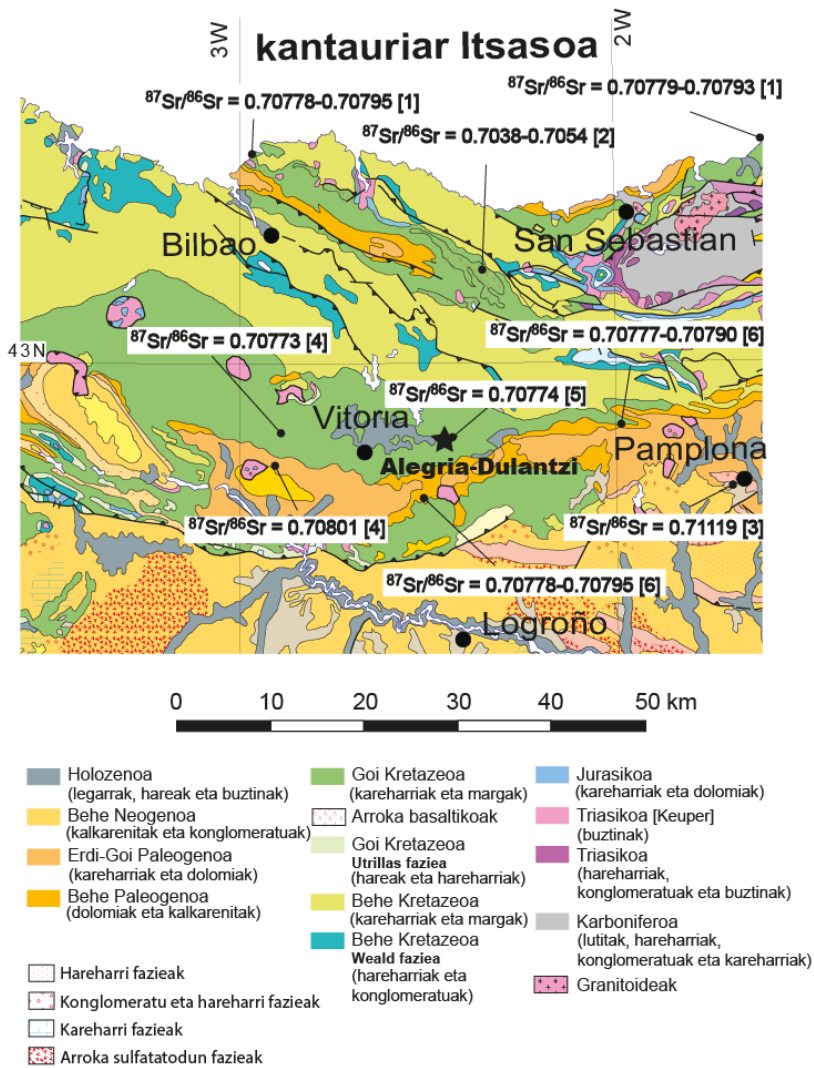
Aztarnategiaren inguruko material geologikoak batez ere Goi Kretazeo/Paleogenoko kareharri eta kareharri dolomitizatuak dira (6. Irudia). Alegri-Dulantzi inguruko Kretazeo eta Paleogenoko materialen

estrontzio isotopo balio tipikoa mugatu daiteke 0,70778 eta 0,70795 bitartean (Gómez Alday et al., 2001; Baceta et al., 2013). Ibaiko ur eta ur freatikoen konposizio isotopikoa 0,707734 eta 0,708012 balioen artean dago. Fernández de Ortega-k (2007) kilometro gutxi batzuetako urak konposizio homogenea dutela egiatatu du, karbonatoen konposizio isotopikoaren media izanik. Horrela aztarnategi inguruko uren erlazio isotopikoa erabili daiteke estrontzio lokalaren seinalea determinatzeko.

Arkeologiaren esparruan konposizio isotopiko lokala finkatzeko prozedura ohikoa lekuko fauna ikertzea izaten da (Price et al., 2002; Slovak eta Paytan, 2011). Hala ere, etxeko animaliak erabiltzea ikerketa honetarako zalantzarik da gizakien migrazio patroia berberak jarraitu ahal dituztelako (Shaw et al., 2009; Knudson et al., 2012).

Hala ere, faunaren konposizio isotopikoa gizakiaren kasuaren lez, lurperatzearen denboran zehar modifikatu daiteke.

FTIR ikerketak hezurren kolageno eta mineralean diagenesi prozesuen eragina txikia edo hutsala dela erakusten dute. Hezur eta sedimentuen arteko isotopo orekatzearen presentzia ebaluatzeko San Martín de Dulantzi hilerriko lurzoru laginak batzuk aztertu dira. Sedimentuen konposizio isotopikoa gizakiena ($t_{(16)}= 9,069$, $p < 0,0001$) eta etxeko animaliena ($t_{(13)}= 9,049$, $p < 0,0001$), baino erradiogeniko gutxiagoa da, prozesu diagenetikoaren gabezia eta hezur/sedimentuaren arteko biroreka eza markatuz, infragorrien azterketa indartuz.

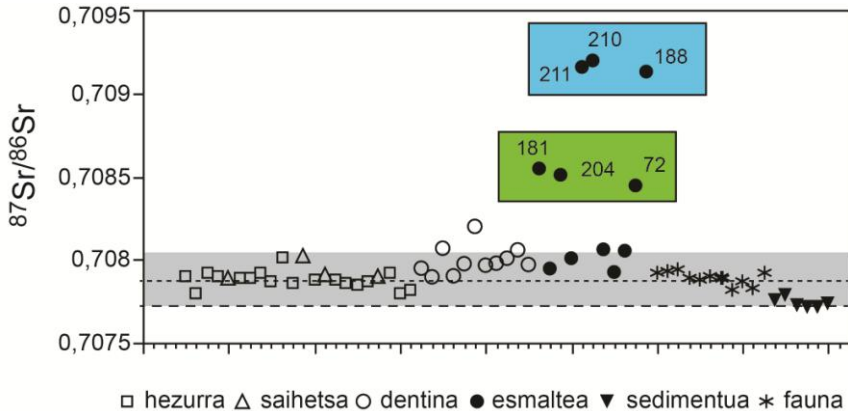


6. Irudia. Ipar Espainiako mapa geologikoa Alegria-Dulantzi hilerriaren kokapenarekin eta sustratu, lurzoru eta uren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioekin. [1] Gómez Alday et al. (2001); [2] Rossy et al. (1992); [3] Prevedorou et al. (2010); [4] Fernández de Ortega (2007); [5] lan honetan; [6] Baceta et al. (2013).

Gizakien eta etxeko animalien hezurrek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ antzekoa erakusten dute ($t_{(27)} = 0.046$, $p < 0,4815$), eta lekuko konposizio

isotopikoarekiko antzekoa ($t_{(24)} = 0,699$, $p < 0,246$) batezbesteko balioa $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70788$ dute gizakien hezurrek eta $0,70789$ kareharri eta dolomiek. Konposizio isotopikoan antzekotasun hauek agertzeak lekuko estrontzioaren sarrera markatzen dute, gizabanakoen jatorri lokala edo egoitza luzea hurbileko inguruetan.

Hortzaren bi materialen (dentina eta esmaltea) arteko $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ konposizioan ezberdintasun nabariak daude (7. Irudia). Dentina konposizio isotopikoa hezurraren aldaratuta erradiogenikoagoa da, baina balioak sakabantuagoak dira. Esmaltearen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak oso ezberdinak dira bata bestekiko (6. Irudia). Gizabanako askotan, esmaltearen eta dentinaren konposizio isotopikoa bera da. Hala ere, beste gizabanako batzuek (72, 181, 204, 188, 210 eta 211 laginak) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balio erradiogenikoagoak dituzte esmaltean, erakutsiz beraien haurtzarora edo nerabezarora lurperatutako bizitokitik (Alegria Dulantzi) kanpo pasa zutela. Hori dela eta, esmalte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak bertokoak ez direla adierazten du (1. Taula, 6. Irudia). Kanpotarren artean bi talde bereiztu daitezke konposizio isotopikoaren arabera. 72, 181 eta 204 laginen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak $0,708445$ eta $0,708547$ bitartean daude, bestalde 188, 201 eta 211 laginek askoz balio erradiogenikoagoak erakusten dituzte, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak $0,709129$ eta $0,709196$ artean daude. Bi esmalte talde hauek eskualde geologiko ezberdineko bi populazio kanpotar daudela markatzen dute.

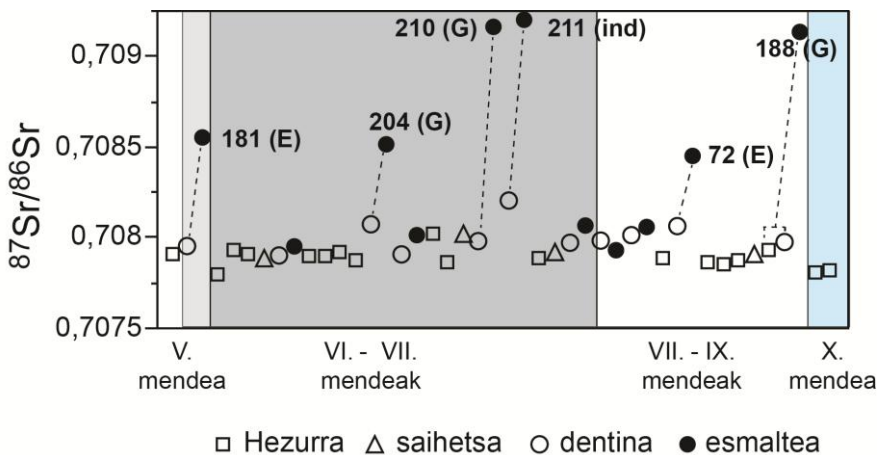


7. Irudia. Ikertutako laginen bariazio isotopikoa. Gris kolorez mugatutako eremua tokiko uren balio markatzen du (Fernández de Ortega, 2007). Lerro eteneko lerroak lekuko sedimentuen batesbestekoa markatzen du. Puntudun lerroak hezurren batezbestekoa markatzen du. Berde eta urdin koloreko eremuak ingurune geologiko ezberdinetakoak diren etorkinak dira.

Dentinaren balioak konparatzean eskualdeko konposizio isotopikoarekin, dentina batzuen konposizioa, lokala denekotik aldentzen dela ikus daiteke (8.Irudia). Dulantzi herrian urte askoz bizi izan ziren gizabanakoen dentinaren balioak lokala den konposiziora hurbilduko dira. Kanpotarrak diren gizabanakoen artean, zeintzuek urteak zeramatzen Dulantzin bizitzen, dentina eta hezurren estrontzio isotopoen konposizioa balio lokalak duena izatera pasako da (Slovak eta Paytan, 2011). Kasu batzuetan dentinaren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak aurreko kokapena eta egungo bizilekuaren artean izango ditugu. Alegria-Dulantzira mugitu ziren etorkinekin argi ikusten da aldaketa.

Azkenik, etorkinen artean emakume eta gizonezkoak ditugu, eta 204 gizabanakoa ezik, zeina pribilegiadun eremuan lurperatutako gizona den, ez dute haturik erakusten. Hortaz, hatuak erakusten dituzten lurperatzeak nagusiki lokalak diren gizabanakoei dagozkie.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bidezko ikerketaren emaitzek Behe Erdi Aroko Alegria-Dulantziko hilerriko gizakien gorpuzkiek erakusten dute gehienbat lekuko gizabanakoak direla eta etorkinen presentzia baxua dela.



8. Irudia. Laginen denboran zeharreko bariazio isotopikoa. Lerro etenak lagin berdinen esmalte eta dentina lotzen dute.

Etorkinak izendatu diren gizabanakoak Behe Erdi Aroan zehar sakanatuak daude (VI-X. mendeak, 8.Irudia) eta ez du loturik erakusten Erromatar Inperioaren erorialdian eman ziren migrazio gertaerekin. Azterketa honek migrazioaren eragina zein izan zen eta seigarren eta zazpigarren mendeetan hatuekin hilobiratzeak dakarren interpretazioaren ondoriozko paradigma etnikoa galdetzera dakarkigu. Germaniarrak diren hatuekin hilobiratzeen eredia Alegria-Dulantzitik kilometro gutxi batzuetara kokatutako Aldaieta aztarnategian ere ikusi da. Aldaieta VI. eta VII. mendeetan kokatzen den hilerria da, bertan azaldu diren arma eta hatuak eragin edo jatorri trans-pirineaikoa dute (Azkarate Garai-Olaun, 1999). Hala eta guztiz ere, Aldaietako gizakien hezurretan egindako ikerketa paleogenetikoek populazioa batez ere

tokioa dela erakutsi dute, etorkinen froga argirik gabe (Alzualde et al., 2006).

Alegria-Dulantziko etorkinen kokapen geografikoa jakitea ezinezkoa izan da. Dulantziko $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak Frantziako hainbat tokirekin bat datoz (Ben Othman et al., 1997; Semhi et al., 2000).

Hala ere, Iberiar Penintsulako eta Europa hegoaldeko toki ezberdinen estrontzio isotopoen datuen gabeziak etorkinen jatorria ezagutzea oztopatzen du. Lan honek Behe Erdi Aroan zeharreko Ipar Iberiar Penintsulako migrazioen eragina mugatua zela soilik ezarri du.

Ondorioak

Etxeko animalien hezurren estrontzio konposizio isotopikoak lekuko konposizio isotopikoa erakusten dute. Gizakien hezurrek etxeko animalien antzeko konposizio isotopikoa erakusten dute, Alegria-Dulantzi eskualdean bizi zirela edo bertan denbora luzea zeramatela markatuz. Sedimentuen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak etxeko animali eta gizakien heurrekin alderatuz nabarmen baxuagoak dira, hauek lurperatuta egon diren denboran aldaketa isotopikorik ez dela gertatu adierazten du, FTIR erakusten duenarekin bat etorritik.

Hortzetako esmalteen analisisiek isotopo konposizioaren arabera hiru talde bereizten dituzte. Eskualdeko geologiaren konposizio isotopikoaren antzekoa erakusten duten gizabanakoak lekukotzat hartu dira.

Lekukoarekiko konposizio ezberdina erakusten duten gizabanakoek haurtzaroa edota nerabezaroa Alegria-Dulantzitik kanpo

pasa zutela adierazten du, horrela etorkinak direla kontsideratu da. Analisisiek ingurune geologiko ezberdinetako etorkin bi talde daudela ezagutarazi dute.

Profil demografikoak biztanleria nagusiki tokiko gizabanakoz osaturik zegoela eta etorkin presentzia baxua zela erakutsi du. Etorkinak Behe Erdi Aroan zehar sakabanatuak daude eta ez dute Erromatar Inperioaren erorialdiarekin eman ziren migrazio gertaerekin loturarik erakusten.

Lan honetako datuek migrazio handiek izan zuten eragina zalantzan jartzen dute. Dulantziko biztanleria nagusiki tokikoak ziren gizabanako eta etorkin batzuekin osatua zegoen, baina ezin izan da etorkinen jatorriko eskualdea finkatu. Migrazio zikloak 4 eta 5. Faseetan zehar eman ziren (VI. –IX. mendeak) bi sexuetako eta adin ezberdineko gizakiak izanik bertaratu zirenak. 204 gizabanakoa izan ezik, gainontzeko etorkinak hatu gabe hilobiratu ziren.

Lan honetako emaitzak bat datoz Europako beste aztarnategietan egin direnekin. Ikerketa honek hatuen presentziaren esangura eta mugikortasun ereduak analizatu ditu eta agertiko konplexua agerian jarri dute.

Altenerding eta Strubung-Bajuwarenstrasse-ko Bavariar hilerrietan Hakenbeck et al. (2010) egindako ikerketak hatuen presentzia, balioen eta kopurua eta mugikortasun ereduaren artean estadistikoki ezberdintasunik ez dagoela ondorioztatu du.

Emaitza hauek hilobiratutako erritu, tramankulu eta identitate etnikoen arteko loturak ulertzeko erronka interesgarria proposatzen dute eta azken planteamendu teorikoekin bat datoz, zeinak nahiago duen

etnizitatea identitate eraikitzailerik eta arin batekin lotzea, kontu biologiko batekin baino (Halsall, 2007).

II. Kapituluua:

Las Gobas Aztarnategia

“Erdi Aroko herrien sorreran zehar isotopen bidezko elikadura eta mugikortasunaren berreraikuntza: Las Gobas (Burgos, Espainiako Iparraldea)”

Archaeological and Anthropological Science 2017, DOI
10.1007/s12520-017-0510-9

Laburpena

Las Gobas herriko, VI-XI. mendeetako, biztanleriaren egoitza-mugikortasuna eta elikadura berreraikitzekeo gizakien hezur eta hortzetako nitrogenu, karbono eta estrontzio isotopoak erabili dira. Gizabanako kanpotar gehienak X. eta XI. mendeetakoak dira eta gehienak emakume eta haurrak dira. Egoitza-mugikortasun hau Laño herriaren sorrerarekin eta kobazuloko egonlekuaren abandonatzearekin bat dator. Hezurreko kolagenoaren karbono eta nitrogenu isotopoen erlazioak lehorreko landareen baliabideetan oinarritutako elikadura orojale homogeneoa adierazten du, eta abeltzaintzako animalietatik eratorritako proteina apur bat ere bai. Artatxikiaren kontsumoa hasierako estaian aurkitzen dugu (VII.-IX. mendeak) eta azken estaian (X-XI. mendeak) batez ere C3 landareen kontsumoa, garia eta garagarra kasu. Orokorrean, elikaduran, sexu eta adinaren araberrako esberdintauunik ez dira antzematen. Sexuaren araberrako elikadura ezberdintasunak soilik X. eta XI. mendeetako gizakietan antzematen dira, non emakumeek gizonezkoek baino elikadura belarjaleagoa eta animalia proteina gutxiago jaten duten. Haurren $\delta^{15}\text{N}$ balio altuagoak edoskitzaro efektuaren ondorioa dira, aldiz gizonezko gazteen eta emakume gazteen arteko $\delta^{15}\text{N}$ balioen arteko ezberdintasunak haurdunaldia bezalako baldintza fisiologikoei edo jatorri ezberdina izatearekin lotu daitezke. Las Gobas aztarnategiko datuak garaikideak diren Erdi Aroko Ipar Iberiar Penintsulako beste biztanleriekin alderatu dira, horrela $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioek Kristau eta Islamiar biztanlerien artean antzeko elikagai baliabideak eta elikadura zutela iradokitzen da.

Sarrera

Erromatar Inperioaren gainbeheraren ostean lurralde antolaketari eragin zion eraldaketa sakonak eman ziren. Espainiako Iparraldeko Kantauriar eskualdean, Erromatar Garaiko ondorengoko paisaiak lurralde zatiketa maila handia erakutsi zuen, herrixka edo landa egiturarik gabe. Testuinguru historiko honetan, VI. eta VII. mendeetan etxebizitzak, sakabanatuta azaltzen dira, bestalde, baserri eta arrokan zulatutako kobazuloak ditugu. VIII. mendean zehar, Kantauriar eskualdearen paisaiak aldaketa sakonak jasan zuen, izan ere pixkanaka herrixken sorrera eta zabalkuntza eman zen (Quirós Castillo, 2009; 2011). IX. mendean, lehenago eman zen nekazari egonlekuen zabalkuntzarekin benetako herrixka sare baten sorrera eman zen. Beste eskualdetan ez bezala, Kantauriar eskualdean elizek ez zuten zeregin garrantzitsurik izan herrixken sarearen eraketan. Goi Erdi Aroko elizak herrixkak sortu ondoren eraiki ziren, eta elizen eraikuntzak gizarte antolaketa eta eskualdearen ustiatzeko modu berriak ekarri zituen.

Las Gobas aztarnategia, inguruan baserriak dituen kobazuloan egindako kokalekua da. Kobazulo artifizialen erabilpena interpretazio ezberdinekin lotu izan da. Historiografia tradizionalak kokaleku hauen zergatia Kristau aszetismoaren aldagai ezberdinen fenomeno gisa azaltzen du (e.g. Gonzalez Blanco 1993; Monreal 1997; Castellanos 1998; Espinosa 2006). Beste azalpen batek nekazari komunitateak zirela dio, zeintzuek beste egonleku batzuetara mugitu ziren ondoren, eta Erdi Aroko herrixka sortu zituzten (Quirós Castillo 2006; Azkarate eta Solaun 2008).

Kobazuloaren erabilpena egonleku bezala 300 urte baino gehiagoz zabaldu zen, VI. eta IX. mendeen artean zehar. IX. mendearen

amaieran egonlekuaren abandonatze graduala eman zen, eta komunitatea haraneko egonleku berri batera mugitu zen (gaur egun Laño herria), baina liturgia eta ehorzketa funtzioak XII. mendera arte iraun zuen (Azkarate eta Solaun 2015).

Datu arkeologiko berriek eta gizaki aztarnetan egindako analisi biogeokimikoek, Erromatar Inperioaren gainbehera eta Erdi Aroan zehar herrien sorreraren bitarteko aldian, nekazari paisaia aldaketa nabarmenak eman zirela erakusten dute.

Erdi Aroko nekazarien bizimodua berreraiki nahian karbono eta nitrogeno isotopo egonkorak aztertu dira elikadura ohiturak ezagutzeko, bestalde estrontzio isotopoak egoitza-mugikortasunaren inguruko informazioa ematen dute (Alt et al., 2014; Lopez-Costas eta Müldner, 2015; Hemer et al., 2017; Salazar-Garcia et al., 2016). Elikadurak, eta bere aldaketak denboran zehar, gizarte eta egitura ekonomikoari eta sexu, adina eta aberastasunaren bezalako alderdiei buruzko informazioa ematen digu. Lan honen funtsa Las Gobas-eko gizaki aztarnetan estrontzio, karbono eta nitrogeno isotopoen ikerketaren bidez, Goi Erdi Aroan zehar Kantauriar eskualdeko nekazari gizartearen dinamika eta artikulazioa finkatzea izan da.

Isotopoen oinarriak

Azken hamarkadetako elikadura berreraikitzeak gizakien hezur ehunetako karbono eta nitrogeno isotopoen balioetan oinarrituz egin dira. Metodoaren printzipioa hezur ehunen seinale kimikoan oinarritzen da, kontsumitutako elikagaien seinale isotopikoa islatuz. Gizakien hezur eta hortzetako karbonoaren isotopoaren balioak ($\delta^{13}\text{C}$) gizakian bere elikaduran animaliaaren bidez barneratutako eta zuzenean jandako

landare motaren menpe daude (Ambrose eta Katzenberg 2000). Goi Erdi Aroko Espainiako Iparraldeko Kantauriar eskualdean elikadura baliabideak, batez ere C3 landareetan oinarritzen ziren C4 landarekin konbinatuz.

Europako Erdi Aroa zehar artatxikia eta basartoa bezalako zerealak, C4 landare motaren barruan sartzen ziren landareak kontsumitzen ziren, baina Kantauriar aztarnategietako datu arkeobotanikoez artatxikia C4 landarea soilik zela elikaduraren parte erakutsi dute (Quirós Castillo, 2016). Gaur egungo C3 landareen $\delta^{13}\text{C}$ balioak ‰ -20 eta ‰ -35 tartean daude, aldiz C4 landareetan ‰ 9 eta ‰ -14 (Katzenberg 2000). Elikagaietako karbono isotopoak gizakiaren hezurreko kolagenoan barneratzen direnean ‰ 5 eko aldaketa ematen da (Ambrose eta Norr 1993). Horrela, hezur kolagenoan neurtutako $\delta^{13}\text{C}$ balioak C3 eta C4 motatako landareen proportzioa ezagutzea ahalbidetzen du (Schoeninger eta DeNiro 1984; Schwarcz eta Schoeninger 1991; Richards 2000).

Aitzitik, nitrogeno isotopoen balioak ($\delta^{15}\text{N}$) kontsumitu den animalietatik eratorritako proteinaren eta landare iturri diren proteinen proportzioa ematen digu, nahiz eta proteina horien proportzioaren zenbatekoa kalkulatzeko zaila izan (Bocherens eta Drucker 2003; Hedges eta Reynard 2007). Maila trofikoaren artean nitrogeno isotopoen zatikatzea ematen da, ‰ 2-5 aberasten dira $\delta^{15}\text{N}$ balioak (batez beste ‰ 3) elikadura eta gorputzeko ehunen artean, nahiz eta azkenengo ikerketek aberastasun hori ‰ 6-koa dela dioten (Bocherens eta Drucker 2003; Hedges eta Reynard 2007; O'Connell et al. 2012). Nagusiki, begetarianoak elikadura duten gizabanakoen $\delta^{15}\text{N}$ balioak ‰ 3 - ‰ 9 dira, aldiz lehorreko animaliak jaten dituzte gizabanakoen $\delta^{15}\text{N}$ balioak

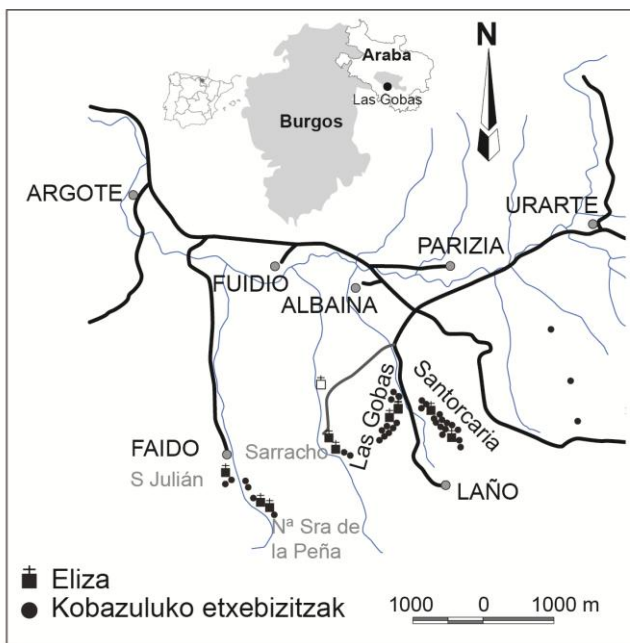
‰9 - ‰12 bitartean daude (DeNiro eta Epstein, 1981; Hedges eta Reynard 2007). Orojalea den elikaduran haragi proteina (%20-25) landareekiko (%10) nagusi izaten dira hezurreko kolagenoaren $\delta^{15}\text{N}$ balioan. Kantauriar eskualdean Erdi Aroko nekazari komunitateek norberaren biziraupenerako egitura ekonomikoa praktikatzen zuten, nekazaritza eta abeltzaintzaren produkzio ereduen arrisku murrizketan oinarritzen zen, eta $\delta^{15}\text{N}$ balioak proteina iturriak islatuko lukete (Quirós Castillo 2013a; Quirós Castillo 2016).

Goi Erdi Aroko lurraldearen antolamenduak, herrien sorreran zehar, nekazari gizartearen berregituraketa ekarri zuen eta honek, gizabanakoen egoitza-mugikortasuna. Estrontzio isotopo seinaleak gizabanako lokal eta ez lokalen artean bereizketa egitea ahalbidetzen du, nahiz eta ezinbestekoa izan $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ lokala ezagutzea (Bentley et al. 2004; Price et al. 2002, Tütken et al. 2011). Estrontzioa hezurren apatitoan eta hortzetako esmaltean barneratzen da elikagaiak jaten eta ur edatean, beraz isotopo seinaleak lokala den elikagaiak jaten dituzten eta eskualde geologiko konkretuan bizi diren gizabanakoen eremua islatuko du (Ericson 1989; Bentley 2006; Price et al. 2002). Lokala den estrontzio isotopoen konposizioa definitzeko lekuko urak, lurzoru, arroka ama eta arkeofauna erabiltzen dira normalean (Montgomery et al. 2006; Voerkelius et al. 2010; Frei eta Price 2012).

Materialak eta Metodoak

Las Gobas aztarnategia leku egokia da Kantauriar eskualdean Erdi Aroan eta herri sareen sorrera eman zen bitarteko denboran landa-paisaiaren ikerketa egiteko. Las Gobas Barrundia arroilan eta Lañoako Ayuda ibaian kokatzen da (Burgos, Espainiako Iparraldea). Mendebaldeko

urertzean dagoen arrokan eraikitako etxebizitzak dira Las Gobas aztarnategia, aldiz ekialdeko urertzean dauden kobazulo artifizialak Santorkaria aztarnategia dira (1.Irudia). Konplexu osoa 29 kobazuloz osatuta dago, kontsideratua delarik Iberiar Penintsulako iparraldean dagoen arrokan eraikitako etxebizitzaren kasurik hoberena (Azkarate 1988). Zehazki, Las Gobas tamaina eta funtzio ezberdina erakusten duten 13 kobazulo artifizialez osatuta dago. Karbono bidezko datazioen analisiek aztarnategia VI. eta XI. mendeetan kokatzen dute (1.Taula), eta leku honen historia eta eboluzioak bi fase nagusi erakusten ditu erabilpenaren arabera, 1. Fasea VII-IX. mendeetan kokatzen da eta 2. Fasea X-XI. mendeetan (Azkarate eta Solaun 2008, 2015). 1. Fasea lehenengo arrokan egindako elizaren sorrerarekin (Las Gobas 6) eta hainbat etxebizitzekin lotzen da, egurrezko eraikin handi bat eta magal batean kokatuta dagoen 15 hilobi dituen hilerriarekin (2. Irudia). Egurrezko eraikina beranduago harriz birreraiki zen, botere eta aberastasunaren beste ebidentzia arkeologiko batzuekin batera (Wickham 2008; Bianchi 2012). 2. Fasean arrokan eraikitako bigarren eliza bat egin zuten (Las Gobas 4) eta hiru silo handi zulatu ziren. Nekazaritza berrien garapenarekin siloek biltegitratze edukiera handitzea ekarri zuen eta egonlekuaren abandonatze graduala baimendu zuen, toki berrien lekutzearekin eta gaur egungo Laño herriaren sorrera ekarri zuen. Momentu berean hilerria berrantolatu zen eta hildako maila berrien garapena ere. Azkenik, nahiz eta elizak bere funtzioa mantendu kokalekua guztiz abandonatu zen.



1. Irudia. Las Gobas aztarnategiko kokapen geografikoa (Azkarate 2008-tik moldatua).

Karbono eta nitrogeno isotopoen analisiak 40 gizakiren hezurretako kolagenoan egin dira, zeinak hobietatik aterako gizabanako guztiak diren, eta 15 fauna arkeologikoren laginetan egin diren (2. eta 3. Taulak). Gainera, hogeita hiru hortzetako esmalteetan estrontzio isotopoen konposizioaren analisiak egin dira (2.Taula). Estrontzio isotopoen lekuko konposizioa definitzeko fauna arkeologikoren 13 hortzen esmalte eta bi ur lagin analizatu dira (3. Taula). Analizatutako fauna arkeologikoa 4 ardi/ahuntza, 3 behi, 2 txerri, 2 zaldi eta 2 oreina dira. Gizaki aztarnak 19 gizon, 12 emakume, 7 haur eta 3 zehaztugabeko sexua duten gizabanakoei dagozkie (2. Taula). Analisi antropologikoak Herrasti eta Etxeberria-k (2014) egin zituzten. Sexuaren determinazioa egiteko klasikoak diren dimorfismo ereduak jarraitu ziren eta adina markatzaile fidagarrienak erabiliz definitu da: Azalera aurikularra eta

pubiseko sinfisia, epifisealaren itxiera, garezurreko suturen eta hortzetako erupzioa aldaketak (Ferembach et al., 1980; White et al., 1991). Gizabanakoak adinaren arabera banatu dira: haurrak (7 urte baino gazteagoak), gazte helduak (16-27 urte), helduak (27-35 urte), nagusiak (35-50 urte) eta zaharrak (60 urte baino zaharragoak). Sailkapen honen barruan, 7-12 urte bitarteko gizabanakoarik ez dago eta guztiak 50 urte baino gazteagoak dira, 60 urte baino gehiago dituen gizonezko bat izan ezik.

1. Taula. Las Gobas aztarnategiko (Laño, Burgos) datazioak egiteko erabilitako laginen zerrenda eta emaitzak. Emaitzek Intcal13 atmosferikoko datuetan oinarrituta daude eta 2 sigman kalibratu ziren (Reimer et al, 2013) eta kalkulatuak 'Calib Rev 7.0.4' software bidez (Stuiver eta Reimer 1993; Stuiver et al, 2005).

Laborategiko					Kalibratutako	Kalibratutako	
Kodea	Lagina	Materiala	C:N	BP adina	datak sigma 2 (kal. A.D.)	%	daten (kal. A.D.) batazbesteko probabilitatea
Ua-47414	ENT 07	Hezur	3,3	1002±31	981-1051	75	1025
Ua-43972	UE 231	Hezur		1134±30	857-986	88	920
Ua-47415	ENT 42	Hezur	3,5	1149±31	799-972	91	892
Ua-43969	ENT 37	Hezur	3,4	1204±30	764-894	91	822
Ua-43975	UE 328	Hezur		1348±30	640-712	92	667
Ua-43971	UE 227	Hezur		1356±30	622-695	94	663
Ua-43974	UE 305	Hezur		1370±30	610-687	100	656
Ua-43970	UE 102	Hezur		1393±33	597-675	100	644
Ua-46155	ENT 26	Hezur		1400±30	599-668	100	641
Ua-43973	UE 245	Hezur		1467±30	549-645	100	598
Ua-43976	UE 357	Hezur		1525±31	505-603	63	540

Isotopo egonkorren analisiak Euskal Herriko Unibertsitatean (UPV/EHU) egin dira Bocherens et al. (1991) prozedura jarraituz. Hezur luzeak edo saiheusak birrindu dira, eta birrindutako 300 mg hezur desmineralizatu dira 1M HCl-an 20 minutuz gelako tenperaturan lagina disolbatu arte. Azido humikoa kentzeko ur distilatuarekin pasatu dira eta ondoren 0,125 M NaOH gehitu zaizkio. Beste behin ur distilatuarekin

pasatu dira laginak eta disolbaezina den frakzioa gelatinizatu egiten da 17 ordutan zehar 90°C tan pH 3-ko HCl disoluzio batean. Laginak izoztu aurretik iragazi egiten dira MCE mintza iragazi batekin (5µm) eta bukatzeko liofilizatu egiten dira FreeZone Plus 12 Liter liofilizatzailean. Liofilizatutako kolagenoak (0,900-1,100 mg) eztaizuzko kapsuletan jartzen dira analisi isotopikorako. Karbono eta nitrogeno isotopoen analisiak Iso-Analytical –en (Cheshire, Erresuma Batua) duten fluxu jarraiko isotopo erlazio masa espektrometroan (EA-IRMS) egin ziren. Tresneriaren zehaztasuna berresteko barne estandarrak diren behi-gibela NBS-1577B estandarra eta amonio sulfato IA-R045 estandarren lagin anitz erabili dira. Isotopoen balioak δ bezala, milakotan (‰) eta karbonoaren (VPDB: Vienna Pee Dee Belemnite) eta nitrogeno (AIR: Ambient Inhalable Reservoir) estandar internazionalarekiko eman dira. $\delta^{13}\text{C}$ zehaztasun intrumentala $\pm 0,06\text{‰}$ edo hobea, eta $\delta^{15}\text{N}$ ‰ $\pm 0,06$ eta ‰ $\pm 0,08$ izan da. Barne estandarren analisisa erreplikari bidez zehaztu da.



2. Irudia. Irudi honetan Las Gobas aztarnategiko kobazuloak ikus daitezke.

2. Taula. Las Gobas aztarnategiko gizabanakoen analisi isotopikoen emaitzak.

Lagina	Hortza	Hezurra	Mendeak	Sexua	Adin taldea	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 1\text{s}$ (azken digitua)	$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	C/N	%C	%N
LG-1	Max M3 Eskuin	saihetsa	VII-IX	Gizon	Heldua	0,707976 ± 6	8,6	-18,15	3,3	43,4	15,6
LG-28	Max E2 Ezker	saihetsa	VII-IX	Gizon	Heldua	0,708090 ± 5	8,71	-19,05	3,3	42,8	15,1
LG-4		saihetsa	VII-IX	Zehazt.	Haurra		7,68	-18,8	3,3	39,6	13,7
LG-8		saihetsa	VII-IX	Emakume	Heldua		8,26	-18,96	3,3	41,9	14,9
LG-22		saihetsa	VII-IX	Gizon	Heldua		8,5	-19,18	3,4	40,4	13,9
LG-26	Max M2 Eskuin	metatartso	VII-IX	Gizon	Gazte-heldua	0,708248 ± 6					
LG-28		metatartso	VII-IX	Gizon	Gazte-heldua	0,708863 ± 4	9,59	-18,21	3,4	43,2	15,1
LG-31		saihetsa	VII-IX	Emakume	Heldua		8,23	-18,32	3,4	39,7	13,7
LG-32	Max AH2 Eskuin	saihetsa	VII-IX	Gizon	Nagusia	0,708368 ± 5	8,78	-19,03	3,4	43,1	14,9
LG-33	Max M2 Ezker	saihetsa	VII-IX	Gizon	Nagusia	0,708901 ± 6	8,08	-19,27	3,4	42,4	14,7
LG-34	Max	Saihetsa	VII-IX	Gizon	Heldua	0,708113 ± 5	8,02	-19,26	3,3	43,1	15,1
LG-36	AH1	saihetsa	VII-IX	Gizon	Nagusia	0,708012 ± 4	9,43	-18,27	3,3	44,1	15,4
LG-37	Max M2 Ezker	falangea	VII-IX	Gizon	Heldua	0,707889 ± 4	9,38	-18,36	3,4	42,9	14,7
LG-38	Max AH2 Ezker	saihetsa	VII-IX	Gizon	Gazte-heldua	0,708312 ± 5	9,41	-18	3,3	41,3	14,7
LG-47	Max AH1 Right	falangea	VII-IX	Emakume	Heldua	0,707881 ± 4	9,01	-19,37	3,4	43,4	15,1
LG-2	Max M2 Ezker	saihetsa	X-XI	Emakume	Gazte-heldua	0,708619 ± 5	8,4	-19,93	3,3	41,7	14,7
LG-103	Max AH Ezker	metatartsoa	X-XI	Emakume	Heldua	0,708863 ± 5	9,22	-17,21	3,3	42,3	14,9

2. Taula. Jarraipena. Las Gobas aztarnategiko gizabanakoen analisi isotopikoen emaitzak.

Lagina	Hortza	Hezurra	Mendeak	Sexua	Adin taldea	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 1\text{s}(\text{azken digitua})$	$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	C/N	%C	%N
LG-7		Orno	X-XI	Emakume	Nagusia		8,71	-18,71	3,3	41,6	15,2
LG-7 ENT		saihetsa	X-XI	Zehazt.	Zehazt.		8,95	-18,63	3,3	43,4	15,4
LG-9	Ba M1 Eskuin	saihetsa	X-XI	Zehazt.	Haurra	0,708667 \pm 4	7,7	-20,09	3,3	42,1	14,8
LG-10		saihetsa	X-XI	Emakume	Heldua		9,04	-19,09	3,3	41,9	14,8
LG-11		saihetsa	X-XI	Gizon	Heldua		8,24	-18,97	3,3	41,8	14,7
LG-13		erradioa	X-XI	Zehazt.	Haurra		10,66	-18,53	3,3	42,5	14,5
LG-14		saihetsa	X-XI	Zehazt.	Haurra		10,16	-19,16	3,3	41,6	14,7
LG-12		saihetsa	X-XI	Zehazt.	Haurra		11,5	-18,94	3,3	43,3	15,4
LG-17	Ba M2 Eskuin	Saihetsa	X-XI	Emakume	Gazte-heldua	0,708622 \pm 5	8,51	-18,94	3,3	43,4	15,5
LG-23		saihetsa	X-XI	Emakume	Heldua		8,39	-19,55	3,3	41,2	14,6
LG-24		ulna	X-XI	Zehazt.	Haurra		11,66	-19,02	3,3	44,0	15,6
LG-27		Saihetsa	X-XI	Zehazt.	Zehazt.		8,68	-19,58	3,4	43,1	15,0
LG-29	Ba AH1 Eskuin	saihetsa	X-XI	Gizon	Nagusia	0,707871 \pm 5	8,55	-18,82	3,3	43,3	15,4
LG-30	Max M3 Ezker	Saihetsa	X-XI	Emakume	Gazte-heldua	0,708675 \pm 5	8,53	-19,49	3,4	40,9	14,2
LG-35	Max M2 Ezker	Ulna	X-XI	Gizon	Adult mature	0,708317 \pm 5	8,43	-19,43	3,6	37,5	11,9
LG-39	Max M2 Ezker	Sakro	X-XI	Gizon	Gazte-heldua	0,708009 \pm 5	9,12	-18,97	3,5	38,0	12,7
LG-40	MaxAH2 Eskuin	saihetsa	X-XI	Gizon	Gazte-heldua	0,708063 \pm 5	8,09	-18,68	3,3	41,3	14,7

2. Taula. Jarraipena. Las Gobas aztarnategiko gizabanakoen analisi isotopikoen emaitzak.

Lagina	Hortza	Hezurra	Mendeak	Sexua	Adin taldea	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 1\text{s}(\text{azken digitua})$	$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	C/N	%C	%N
LG-41	Ba AH2 Eskuin Max M2	saihetsa	X-XI	Gizon	Gazte-heldua	0,708349± 6	9,48	-18,32	3,2	43,5	15,7
LG-42	Eskuin Max M2	saihetsa	X-XI	Emakume	Gazte-heldua	0,708482 ± 5	8,47	-19,27	3,4	41,4	14,4
LG-43	Eskuin Max M2	Kalkaneo	X-XI	Gizon	Gazte-heldua	0,708274 ± 4	8,31	-19,31	3,3	43,3	15,3
LG-44	Eskuin Ba M2	Saihetsa	X-XI	Emakume	Gazte-heldua	0,708412 ± 6	7,68	-19,51	3,2	42,3	15,3
LG-45	Ezker Max M2	saihetsa	X-XI	Zehazt.	Haurra	0,708234 ± 6	10,26	-19,71	3,5	41,6	14,4
LG-46	Ezker	Saihetsa Ardatz	X-XI	Gizon	Adult mature	0,708056 ± 5	8,81	-19,67	3,5	36,7	12,2
LG-3		femorala	X-XI	Zehazt.	Zehazt.		8,71	-19,33	3,4	40,1	15,2

Max., maxilarra; Ba., baraila; M., molar; AH., aurreko hagin; E., ebakortz; Zehazt., zehaztugabea.

3. Taula. Las Gobas aztarnategiko (Burgos) fauna eta ibaiko uren analiso isotopikoen emaitzak.

Lagina	Espeziea	Periodoa	Mendea	Materiala	Hortz mota	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 1\sigma$ (azken digitua)	$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	C/N	%C	%N
LG-163.12	Ardi/ahuntz	1	VII	Hortza	Ba M1-2	0,710219 ± 7					
LG-198.12	Behia	2	X	Hortza	Max M1-2	0,710323 ± 6					
LG-198.38	Oreina	2	X	Hortza	Max M1-2	0,708229 ± 7					
LG-199.92	Zaldia	1	IX-X	Hortza	Ba AH2	0,711527 ± 12					
LG-249.1	Ardi/ahuntz	2	X-XI	Hortza	Max M1-2	0,708163 ± 7					
LG-265.1	Behia	1	VIII	Hortza	Ba M3	0,707689 ± 6					
LG-301.1	Behia	1	VII	Hortza	Ba M?	0,707990 ± 8					
LG-301.4	Txerria	1	VII	Hortza	Ba M?	0,708183 ± 7					
LG-340.1	Ardi/ahuntz	1	VIII-IX	Hortza		0,708035 ± 8					
LG-199.92	Zaldia	1	IX-X	Hortza		0,708585 ± 6					
LG-163.12	Ardi/ahuntz	1	VII	Hortza	Ba M1-2	0,708600 ± 5					
LG-328.6	Oreina	1	VII	Hortza	Max M1-2	0,708347 ± 8					
LG-102.9	Zaldia	2	X-XI	Hortza	Ba M3	0,707984 ± 6					
LG-Agua	Wáter					0,707842 ± 8					
Rio Ayuda	Wáter					0,707894 ± 8					
LG-160.228	Ardi/ahuntz	1	IX-X	Hezurra	Orno		4,11	-20,57	3,3	41,5	13,2
LG-160.281	Zaldia	1	IX-X	Hezurra	Metakarpo		2,36	-21,5	3,3	41,8	13,8
LG-198.18	Behia	2	X	Hezurra	Humerus		1,87	-21,72	3,3	40,8	15,2
LG-198.27	Ardi/ahuntz	2	X	Hezurra	Axis		4,31	-20,43	3,3	39,9	14,6

3. Taula. Jarraipena. Las Gobas aztarnategiko (Burgos) fauna eta ibaiko uren analiso isotopikoen emaitzak.

Lagina	Espeziea	Periodoa	Mendea	Materiala	Hortz mota	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 1\sigma$ (azken digitua)	$\delta^{15}\text{N}\%$	$\delta^{13}\text{C}\%$	C/N	%C	%N
LG-198.35	Txerria	2	X	Hezurra	Kalkaneo		4,8	-20,27	3,3	37,9	14,2
LG-198.40	Oreina	2	X	Hezurra	Eskapula		4,45	-20,51	3,2	42,9	14,7
LG-227.17	Oreina	1	VII	Hezurra	Orno		2,46	-21,9	3,3	41,3	13,9
LG-227.79	Txerria	1	VII	Hezurra	Eskapula		6,78	-20,53	3,3	41,3	15,2
LG-227.188	Ardi/ahuntz	1	VII	Hezurra	Eskapula		4,91	-20,62	3,3	41,5	15,8
LG-245.84	Ardi/ahuntz	1	VI-VII	Hezurra	Pelbisa		4,8	-21,27	3,3	40,7	15,3
LG-265.3	behia	1	VIII	Hezurra	Saihetsa		4,46	-21,04	3,3	39,7	15,3
LG-265.16	Ardi/ahuntz	1	VIII	Hezurra	Humero		5,41	-21,06	3,3	41,5	13,2
LG-312.2	behia	1	VIII	Hezurra	Orno		2,64	-22,18	3,2	42,5	14,5
LG-312.7	Ardi/ahuntz	1	VIII	Hezurra	Baraila		5,47	-20,34	3,3	39,8	14,7
LG-312.15	txerria	1	VIII	Hezurra	Orno		5,9	-20,58	3,3	41,2	15,3

Max., maxilarra; Ba., baraila; M1-2., molarra 1-2; M3., molar 3; AH2., aurreko hagin 2

Estrontzio isotopoen konposizioa determinatzeko hortzetako esmaltea erabili da. Laginak bainu ultrasonikoen bidez garbitu dira espurutasunak kentzeko. Gainera, urradura mekanikoa erabiliz garbitu dira gainazaleko eremua kentzeko eta horrela kutsadura ekiditeko. Hortzetako esmalte frakzioa modu mekanikoan bildu da diamantezko zulatzaile bat erabiliz (MF-perfect, W & H Dentalwork, Bürmoos, Austria). Laginketaren norabidea beti perpendikularra izan da hortzaren hazkunde ardatzarekiko. Hortzetako esmaltea (~10 mg) 7 ml-ko Savillex® boteetan (Minnetonka, MN, EEUU) eta 1,5 ml 2N HNO₃ -tan (analytical grade purified by sub-boiling distillation) disolbatu da.

Ur laginak Barrundia ibaiko ertzean hartu ziren. Analisiak egin aurretik, ur laginak iragazi egin dira esekita zegoen materiala kentzeko. Gero, aurretik azidoz garbitutako tefloizko ontzietan, 10-15 ml ur lurrundu dira eta 1,5 ml 2N HNO₃ gehitu zaizkio (sub-irakiten distilazio bidez arazte analitikoa). Soluzioak, Sr.spec® (ElChroM industria, Dariel, IL, EAB), estrontzio erretxina selektiboz betetako katioi trukaketa zutabeetan kargatu dira. Erretxina lagina behin lortu denean baztertu egin da. Estrontzio prozedura-hutsuneak 100 pg baino gutxiago ziren eta horregatik ekarpen arbuigarria eskaintzen dute.

Estrontzioa reniozko filamentu simplean kargatu da, TaF aktibatzailea erabiliz eta Birck (1986) proposatutako metodoa jarraituz. Isotopo erlazioen neurketa Eukal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) ikerkuntzarako zerbitzu orokorrean dagoen Ionizazio termikozko iturridun Finnigan MAT 262 masa espektrometroaren (TIMS) bidez determinatu ziren. Estrontzio erreferentzia den NBS 987 materialaren lagin asko neurtu ziren tresneriaren zehaztasuna baieztatzeko. Kanpo

sorta erreproduktibilitatea $\pm 0,00002$ (absolutua 2σ) izan da oinarritutako 232 neurketa.

Windows-entzako 20 bertsioko SPSS programa estadistikoa erabiliz egin dira estadistika probak. Lagin arteko ezberdintasunak “Mann-Whitney U” testa erabiliz analizatu dira. T-test aukeratu beharrean frogua hau aukeratu da lagin gutxi direlako, taldeen arteko lagin kopuruan ere ezberdintasun nabaria dagoelako eta bariantzen artean heterogeneitasuna ere. Hipotesi nulua dio ez dagoela ezberdintasunik bi laginen lerroen artean. Hipotesi nulua arbuiatzeko 5% -eko probabilitate maila kontsideratu da.

Emaitzak

Karbono eta nitrogeno isotopoak

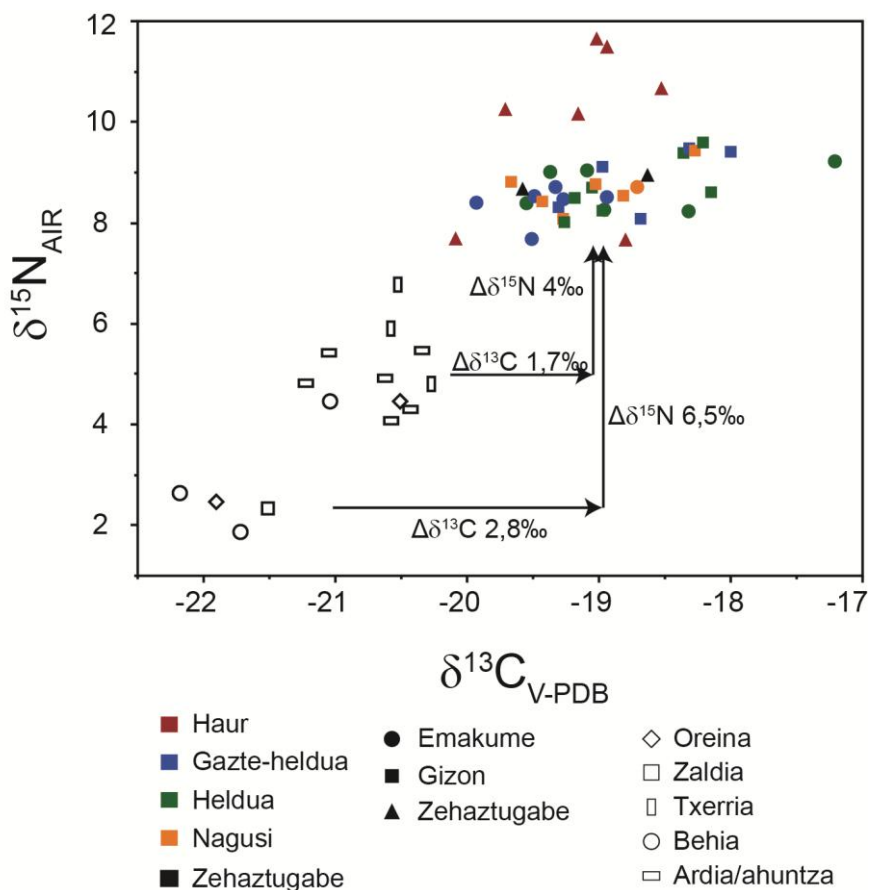
Gizaki eta fauna analisisien emaitza 2. Taulan daude. Kolagenoaren kalitatea eta diagenesiaren efektua C/N erlazio atomikoaren bidez baieztatu da. Karbono datazioetarako eta isotopo egonkorren analisisientzako kolagenoaren C/N erlazioa 2,9-3,6 artean dagoenean balio egokiak direla kontsideratzen da (DeNiro 1985; Ambrose 1990; Schwarcz eta Schoeninger 1991). Kolageno laginetako karbono eta nitrogeno balioak +36,7 %wt eta +12,0 %wt dira hurrenez hurren eta C/N erlazio atomikoa 3,2-3,6 du, kolagenoa ondo kontserbatu denaren adierazle.

Las Gobas aztarnategiko gizabanakoen ($n=40$) $\delta^{13}\text{C}$ erlazioak ‰-20,1 eta ‰-17,2 artean daude (batezbeste ‰-19,0 $\pm 0,58$, 1σ) eta $\delta^{15}\text{N}$ balioak ‰+7,7 eta ‰+11,7 tartean (batezbeste 8,9‰ $\pm 0,9$, 1σ). $\delta^{13}\text{C}$ balioak ez bezala, $\delta^{15}\text{N}$ balioek aldaera esanguratsuak erakusten dituzte.

Nitrogeno isotopo erlazioak gizabanako gehienetan +10,0‰ (n=33) baino txikiagoak dira, aldiz bost haurrek ‰+10,0 (p<0,001) baino balio altuagoak erakusten dituzte. Fauna arkeologikoa karbono eta nitrogeno isotopoen balioen arabera bi taldetan banatzen da. Fauna lehenengo taldeak bi behi, zaldi bat eta oreina batez osaturik dago eta oso txirotua dago $\delta^{13}\text{C}$ (n=4) (batesbeste ‰-21,8 \pm 0,3, 1 σ) eta $\delta^{15}\text{N}$ -an (batesbeste ‰ +2,3 \pm 0,3, 1 σ). Aldiz bigarren fauna taldea batez ere txerriz, ardi/ahuntza, eta behi eta orein batez osaturik dago (n=11) eta ez dituzte balioak hain txirotuak $\delta^{13}\text{C}$ -an (batesbeste ‰-20,7 \pm 0,3, 1 σ) eta aberastuak $\delta^{15}\text{N}$ -an (batesbeste ‰+5,0 \pm 0,8, 1 σ).

Lehenengo fauna taldearen eta gizakien arteko aldaketaren batezbestekoa $\Delta\delta^{15}\text{N}$ ‰ 6,5 da eta $\Delta\delta^{13}\text{C}$ ‰2,8, aldiz bigarren fauna taldearen eta gizakien arteko aldaketa txikiagoa da ($\Delta\delta^{15}\text{N}$ ‰4, eta $\Delta\delta^{13}\text{C}$ ‰1,7, batezbestez) (3.lrudia).

Helduen sexu eta adinaren araberako nitrogeno eta karbono isotopoen konposizioaren artean ez dago ezberdintasun estadistikorik. Hala ere, faseen artean ezberdintasun adierazgarriak daude $\delta^{13}\text{C}$ balioetan (p=0,04). 1. Fasean $\delta^{13}\text{C}$ balioak bi taldetan multzokatzen dira, talde baten batezbesteko $\delta^{15}\text{N}$ balioak ‰+9,1 \pm 0,6 (1 σ , n=6) eta $\delta^{13}\text{C}$ balioak ‰-18,2 \pm 0,1 (1 σ), aldiz beste taldeko $\delta^{15}\text{N}$ batezbesteko balioak ‰ +8,5 \pm 0,4 (1 σ , n=7) eta $\delta^{13}\text{C}$ ‰-19,2 \pm 0,2 (1 σ) dira. 2. Fasean gizabanako gazteak bakarrik hartzen ditugunean kontutan emakumezkoek (‰-19,4 \pm 0,4, 1 σ , n=4) gizonezkoek (‰-18,8 \pm 0,4, 1 σ , n=4) (p=0,04) baino $\delta^{13}\text{C}$ -an batezbesteko balio baxuagoak erakusten dituzte.



3. Irudia. Las Gobas aztarnategiko gizakien hezur kolagenoaren $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ isotopoen balioak eta faunaren isotopoen balioekiko konparaketa.

Estrontzio isotopoak

Gizaki eta fauna arkeologikoaren hortzetako esmaltearen eta ur lokalen estrontzio isotopoen balioak 2. Taulan daude ikusgai. Ur lokalen balio tartea 0,70784 eta 0,70789 da, eta fauna arkeologikoarena 0,70769 eta 0,71153. Osagarri gisa Las Gobas-eko arroka amaren estrontzio balioak kontuan hartu dira, non $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ konposizioak 0,70796 eta 0,70813 arteko balioak erakusten dituen (Baceta et al. 2013). Gizakien

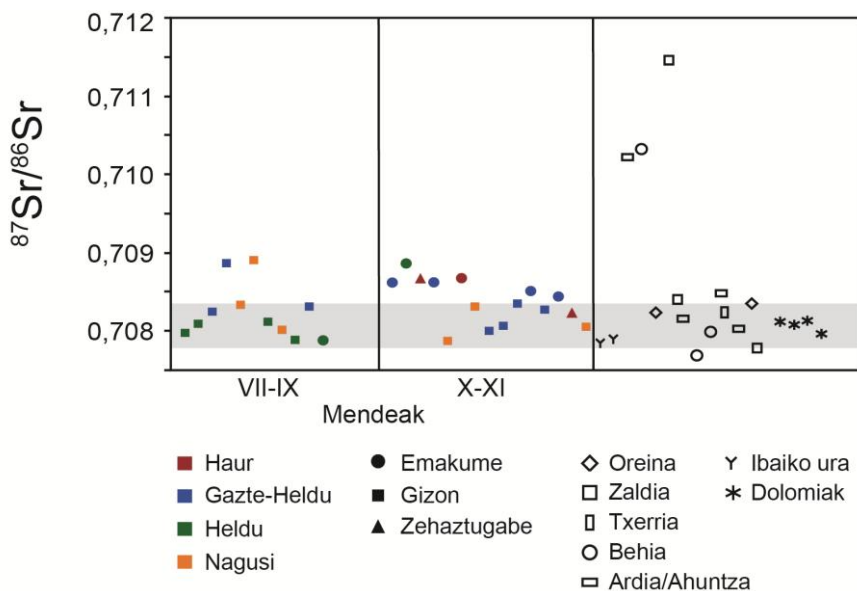
hortzetako esmaltearen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak 0,70787 eta 0,70890 artean daude.

Eztabaida

Egoitza mugikortasuna

Arkeofaunak, ur lokalak eta arroka amaren konposizioak kontsideratu dira Las Gobas aztarnategiko estrontzio konposizio lokala finkatzeko. Litologia nahiko homogeneoa da eta karbonatatuak diren arroka sedimentarioz osatuta dago, batez ere dolomiak eta kareharriak. Nola eta Las Gobas inguruko litologia uniforme den, ur lokalen eta arroken estrontzio isotopo konposizioa estrontzio lokalaren konposizioa finkatzeko erabili daiteke. Aztarnategiari atxikitako fauna arkeologikoak ere islatu dezake bioeskuragarria den estrontzio isotopoaren konposizioa. Hala ere, zaldi batek, behi batek eta ardi/ahuntz batek lokala den ur eta arroken isotopo balioetatik urruntzen dira, honek abereen merkataritza eta abeltzaintzan transhumantzia iradokitzen du. Lkusita abereen ziurgabetasuna isotopo konposizio lokala finkatzeko, ur eta arroken konposizioa erabili da, baita garaikidea den fauna basatia (oreina) (4. Irudian grises markatutako eremua).

Horrela, konposizio lokalak, 0,7075 eta 0,7084 arteko balioak erakusten ditu. Hori dela eta, Las Gobas aztarnategiko gizabanako gehienak bertako jatorri dutela ikus daiteke eta 8 dira kanpotarra den konposizioa erakusten duten bakarrak, nahiz eta bi emakumek goiko mugatik oso hurbileko konposizio agertu (4. Irudia).



4. Irudia. Las Gobas aztarnategiko giza aztarna, fauna arkeologiko, ur eta arroken (Baceta et al. 2012) estrontzio isotopoen erlazioak.

Egonlekuko faseen arabera, VII-IX.mendeetako gizabanako gehienak bertakoak dira, bi gizon izan ezik (LG-28 eta LG-33), aldiz X-XI. mendeen artean gizabanako ez lokalen kopurua handiagoa da eta gehienak emakumeak dira. Goi Erdi Aroan zehar, jende gutxi mugitzen zen orokorrean, oso arriskutsua eta zaila zelako. Hala ere, herrien eraketaren garaian jatorriz hurbileko eskualdean bizi ziren gizabanakoen mugirkortasuna handitu egin zen. Las Gobas aztarnategiak nekazari gizarte baten berreraiketa erakusten du, non gizonak ziren mugitzen zirenak aukera ekonomiko hobegoen bila, beraien gizarte maila hobetzearen desiran, aldiz emakumeak ezkontzan patrilokalen ondorioz mugitu ahal zitezkeen (Bittel, 2002).

Dieta patroiak

Gizakien elikadurari buruzko ondorio sendoak izateko beharrezkoa da lekuko konposizioa finkatzea. $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioek Las Gobas aztarnategiko arkeofauna bi taldetan banatzen dela ikusirik, zaila da lekuko oinarri konposizioa finkatzea. Etxeko abereen $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ bariazioak lotuak egon daitezke elikatze edo artzaintza jardueri edo konposizio isotopiko ezberdineko habitatean bazkaltzeagatik (Oelze et al. 2011). Etxeko animali espezien (ardi/ahutz vs behi eta zaldia) artean antzematen diren eredu ezberdinek larre mota ezberdinak eman zirela iradokitzen du. Osagarri gisa, faunaren estrontzio isotopo emaitzek tokiko eta kanpoko jatorria zuen abeltzaintza ematen zela erakusten dute, eta beraz isotopo konposizio ezberdineko habitatekin. Beraz, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sinaduraren arabera, antzeko konposizioa erakusten duen txerri eta ardi/ahuntzez osatutako taldea erabili da lekuko konposizioa finkatzeko.

Analizatutako fauna bi momenturi dagokio, gizakien aztarnak lez. Bi garaien arteko faunaren $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioak estadistikoki ez dute ezberditansun adierazgarrikerak erakusten, beraz nahiz eta herrian kokalekua aldatu abeltzantzaren egitura ez zen aldatu.

Las Gobas aztarnategiko biztanleriaren $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ datuak lehorreko landare eta animalietatik eratorritako elikagaiak jaten zituztela adierazten dute. Oinarrizko elikagaiak zerealak, nagusiki garia, garagarra eta lekaleak bezalako C3 landareak ziren ($\delta^{13}\text{C}$ batezbestez $\text{‰}-19,0 \pm 0,58, 1\sigma$), datu arkeobotanikoez adierazten duten bezala. Hala ere, datu arkeobotanikoez artatxikiaren presentzia erakusten dute (C4 landarea) (Azkarate eta Solaun 2015). Hortaz, C3 zereal eta lekaleez gain C4 artatxikiaren bezalako zerealen kontsumoa ematen zen modu zuzen edo

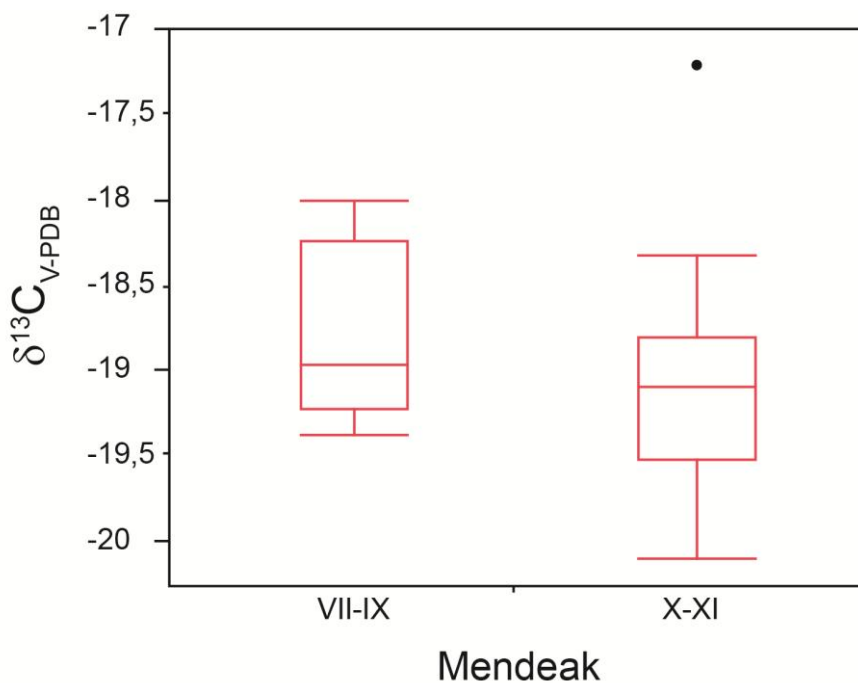
animalien bitartez modu ez zuzen batean. $\delta^{15}\text{N}$ balioek orojalea zen elikadura erakusten dute eta baita haragia jaten zutela. Hala ere, lagin gehienak fauna-gizaki aldaketaren % 6 tartearen barruan kokatzen dira, honek animaliatik eratorritako proteinen kontsumoa urria zela erakusten du (O'Connell et al. 2012). Gizaki eta fauna aztarnen artean animalien erabileraren arabera bi aldaketa ezberdin antzematen dira. Erdi Aroan zehar ikerketa zooarkeologikoen etxeko abere batzuek (behiak eta zaldiak) lanerako erabiltzen ziren eta sakrifikatuak ziren zaharrak ziren beraz orokorrean haragi produkzioa primariotik kanpo gelditzen dira (Woolgar et al. 2006). Las Gobas aztarnategiko ikerketa zooarkeologikoen ardi/ahuntza abeltzaintza nagusitasuna erakusten dute, bai animalia gazte eta helduak sakrifikatzen ziren. Abere helduen eta txerri gazteekin osatzen zen, beraz haragi kontsumoa bideratuta zegoen abeltzaintza estrategia mixtura eta bigarren mailako produktuen ekoizpenera (esnea eta artilea). Baita aipatzekoa da animalia basatien presentzia, oreina batez ere, untxia eta hartza ere aurkitu dira (Castaños Ugarte eta Castaños de la Fuente 2014). Las Gobas aztarnategiko gizakien balioak faunarekin alderatzean espero litzatekeen maila trofikoaren aberastasuna ematen da (Bocherens eta Drucker 2003). Honek Las Gobas aztarnategiko biztanleen proteinaren jatorri nagusia txerria eta ardi/ahuntza zirela erakusten du. $\delta^{15}\text{N}$ % 6-ko aberastasuna kontuan hartzen baldin badugu (O'Connell et al. 2012), zaldi eta behiaren haragia ezin dugu baztertu elikaduraren osagarri moduan. Las Gobas gizabanakoen sexuaren araberako konposizio isotopikoa kontuan hartzean ez dira ezberdintasun adierazgarriak antzematen $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$. Iberiar Penintsulako nekazari egonleku ikerketek kasu batzuetan erakusten dute gizon eta emakumeen artean ezberdintasunak daudela, aldiz beste kasu batzuetan ez dira ezberdintasunak ikusten. Jokaera heterogeneo hau dinamika lokalekin

lotzen da (Mundee 2010). Literaturako C3 landaren ohikoen balioen antzeko landareen kontsumoa zutela ($\delta^{13}\text{C} = \text{‰} -26$, Schoeninger eta DeNiro 1984) eta kontsumitzailearen kolagenoaren $\delta^{13}\text{C}$ balioak $\text{‰} 5$ baino altuagoak direla elikadurarekiko (Ambrose eta Norr 1993) kontsideratzen badugu, C3 landareak soilik jaten dituen gizabanakoen $\delta^{13}\text{C}$ balioak $\text{‰} -20$ inguruan egongo lirateke (Chisholm et al. 1982; Schoeninger et al. 1983). Itsasoko jatorria duten elikagaien gabezia, zeinak $\delta^{13}\text{C}$ balioen aberastea ekar dezakeen, karbono isotopo egonkorraren analisiak hezur kolagenoan erabili dira C3 vs C4 landareen ekarpena determinatzeko. Las Gobas aztarnategiko gizabanako gehienak C3 iturrizko elikagaiak jateagatik emango lukeen eremuan erortzen dira, adieraziz elikadura gari eta garagarra oinarritzen zela. Hala ere, sei gizabanako, bost gizon eta emakume bat (LG-3, LG-28, LG-36, LG-38, LG-39, LG-41), batezbesteko $\delta^{13}\text{C} \text{‰} -18,2$ baliotik aldentzen dira, adieraziz artatxikia bezalako C4 iturriko elikagai gehiagoren kontsumoa, zeina modu zuzenean edo faunaren kontsumoaren bidez hartu zitekeen.

Adinaren arabera alderaketa estadistikoak ez dute ezberdintasun adierazgarriak erakusten gazte heldu (18-27 urte), heldu (27-35 urte) eta nagusien (35-50 urte) artean, sexuaren arabera elkarrekin zein banatuta egitean. Karbono eta nitrogeno isotopoen konposizioan aldaketa ezak adinaren arabera elikadura aldaketarik ez zela eman adierazten du. Bost haurrak (3 urte baino gazteagoak) helduarekin konparatzean $\delta^{15}\text{N}$ balio positiboagoak erakusten dituzte ($\text{‰} +10,9 \pm 0,7 (1\sigma)$). Nitrogeno isotopoan aberastasuna hau izatea edoskitzaroarekin azaldu daiteke (Schurr eta Powell 2005). Edoskitzaroan zehar haurren ehunek amaren nitrogeno isotopo konposizioarekin alderatuta balio altuagoak erakusten dituzte maila trofikoaren efektua dela eta (Fuller et al. 2005; Schwarcz eta Schoeninger 2011). Hala ere, bi

haurrek $\delta^{15}\text{N}$ balio baxuenak erakusten dituzte ($\text{‰}<8$), titia kendu zaien 3-6 urte bitarteko hildako haurretan aurkitzen dira balio hauek ere. $\delta^{15}\text{N}$ balio baxuagoak izateak elikaduran elikagai solido gehiagoren kontsumoarekin lotu daiteke (Richards et al. 2002). $\delta^{15}\text{N}$ balio baxuagoak gizabanako gazteetan ($<8\text{‰}$), hazkunde intentsiboaren estaietako nitrogenoaren desorekarekin ere lotu daiteke (De Luca et al. 2012).

Elikadurari denbora aldaketan gehitzean haurren isotopo datuak baztertu dira edoskitzaro efektua saihesteko. Denboran zeharreko $\delta^{15}\text{N}$ eta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aldaketak ez dira adierazgarriak. Aldiz, VII. eta IX. mendeetako arteko $\delta^{13}\text{C}$ balioak alderatuak X-XI. mendetakoekin modu esanguratsu batean aberastuak daude ($p=0,042$) (5.Irudia). Bestalde, VII. eta IX. mendeetan, bi gizabanako talde ikusten dira, horietako batek $\delta^{13}\text{C}$ balio positiboagoak erakusten ditu, artatxikiaren kontsumoarekin erlazionatu dagoelarik. Horrelako aldakuntzak ez du populazioaren dietan aldaketa handirik islatzen, baina dieta ezberdineko bi talde bereiztu daiteke. VII. eta IX. mendeetako gizabanakoen data zehatzik ez izateak elikaduran antzeman diren ezberdintasunak bi taldeek denbora ezberdinetakoak izatea edo denbora osoan zehar elkarrekin bizi izan zirelaren zehaztasunik ez dugu. Elikadura ezberdina zuten estai ezberdineko bi biztanleria izatea, elikadura ezberdina zuten bi talde elkarrekin bizi zuten baina hipotesi probableagoa da.

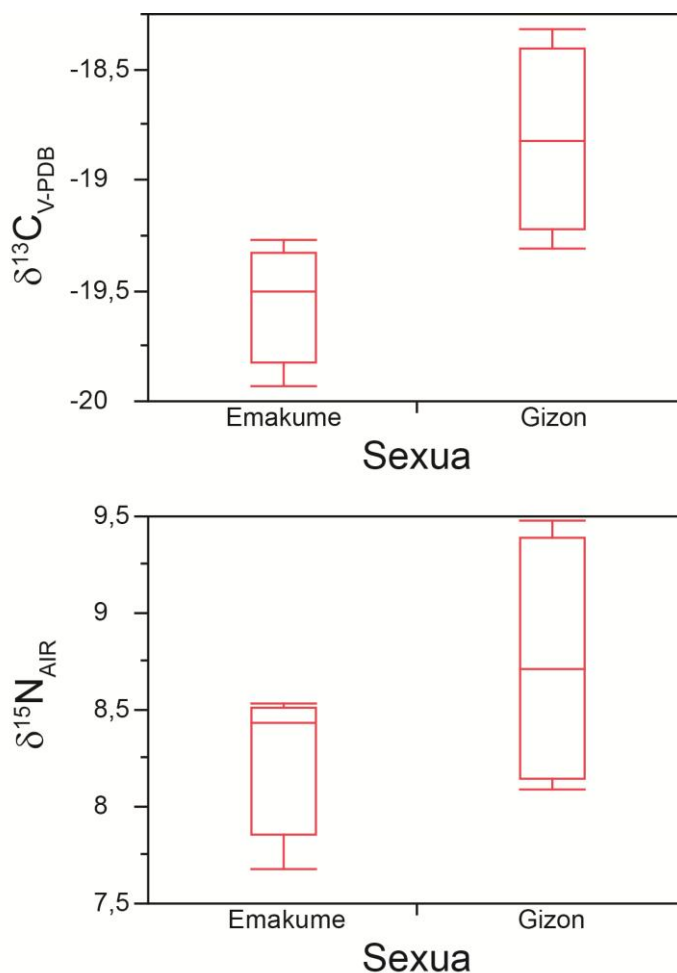


5. Irudia. Denboran zeharreko Las Gobas aztarnategiko gizabanakoen $\delta^{13}\text{C}$ balioen kutxa diagramak.

Sexuarean eta denboran zeharreko banaketa desberdinak biztanlerien konparaketa zailtzen du. VII. eta IX. mendeetan gizabanako gehienak gizonezkoak dira eta bakarrik hamarretik hiru dira emakumeak. X-XI. mendeetako 26 gizabanakoren taldearen barruan, eta sexu zehaztugabeko gizabanakoak bazterturik, haurrak (n=6) eta emakumeak (n=9) dira nagusi eta gizonezkoak gutxiago dira (n=8). Hala ere, adin eta sexuaren banaketak emakume eta gizonen arteko bizi itxaropenari buruzko informazioa ematen du. Bakarrik emakume bat iritsi zen nagusien adina izatera, emakumeen % 7 izanik, aldiz gizonezkoen artean bederatzi iritsi ziren adin horretara (gizonen % 43). Erdi Aroan arruntak ziren bizi itxaropenean horrelako desberdintasunak (Acsádi eta Nemeskéri 1970; Šlaus 2000; Šlaus et al. 2002). Emakumeen heriotza-

tasa handiagoa izatea haurdunaldi eta erditzeekin erlazioaturik zegoen (Högberg et al. 1987; Šlaus 2000; Joyce 2001; Tocheri et al. 2005). Kontuan izan behar da gizabanako gehienek gazte helduak direla, batez ere emakumezkoak dira, beraz gehienak 30 urte lehenago zutela hil ziren (4/5).

X. eta XI. mendeetako gazte helduek sexuarekiko konparatzean, emakumeek gizonezkoek baino $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balio baxuagoak dituzte (6. Irudia). Desberdintasun hauek elikadura ezberdina izatearekin lotu daitezke. Horrela, emakumeen isotopo balioak gizonezkoenak baino baxuagoak izateak elikadura begetarianoagoa markatzen du eta erlatiboki haragi kontsumo baxuagoa. Elikadura ezberdinak izatearen arrazoi posiblea sexuen arabera lan banaketa izatea da, bereizgarria dena Erdi Arokoan. Hala ere, hildako emakume ugalkorren kopuruan kontuan hartuz, elikaduran ezberdinak izatea baino, haurdunaldia bezalako faktore fisiologikoen ematen dute izango litzatezkeela hipotesi egokiena. Hipotesi hau babestuta dago Fuller et al. (2004) lanarekin, zeinek $\delta^{15}\text{N}$ ‰1-aren txirotzea ematen zela ikusi zuen gaur eguneko haurdun zeuden emakumeen ilean. Hala ere, emakumeetan $\delta^{15}\text{N}$ txirotzea sexu bien jatorri ezberdina izatearekin ere lotu daiteke.



6. Irudia. XI. mendeko gizabanako gazte-helduen $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioen kutxa diagrama.

Konparatutako Iberiar Penintsulako beste kokalekuetako elikadurak

Las Gobas aztarnategiko isotopo datuak garaikideak diren beste aztarnategi arkeologikoekin konparatu dira, dieta ereduak idatzitako dokumentu eta beste datu arkeologikoekin hobeto integratzeko. 4. Taulak laburtzen ditu kontuan izan diren aztarnategi arkeologikoak: San Martín de Dulantzi (VI- XI. mendeak), Zornoztegi (VII-XIV. mendeak),

Aistra (VII-IX. medeak), Zaballa (X-XV. mendeak), Trebiño (XII-XIV. mendeak) eta Tauste (VIII-X. mendeak) (Quirós Castillo 2013b, 2013a; Guede et al. 2017, Sirignano et al. 2014).

Tauste 160 km-tara dago (Aragoi, IE Iberiar Penintsula), eta Islamiar biztanleriaren kasua erakusten du, aldiz beste kokaleku arkeologikoak kristauak dira. Zaballa, Zornostegi, Aistra eta Trebiño aztarnategiak, Las Gobas aztarnategitik oso hurbil daude (10 km eta 50 km bitartean), hauek eskualdeko-aztarnategi bezala kontsideratzen dira. Baldintza klimatikoei ondorioz isotopo konposizioa aldakorra denez, hurbileko aztarnategiak bakarrik hartu dira kontutan konparaketa egiteko. Kristauak diren aztarnategi guztiak eskualde klimatiko berean daude kokatuta eta Koeppen-Geiger sailkapen sistema kontuan hartuta klima ozeaniko epela (Cfb mota) izango litzateke, aldiz Islamiar aztarnategia klima erdielkorrean (Bsk mota) dago kokatuta (Peel et al. 2007).

Tausteko Islamiar biztanleriak Kristau biztanleriarekin alderatuz $\delta^{15}\text{N}$ balio altuagoak erakusten ditu, honi lehenbiziko irakurketa egiten badiogu, elikadura ezberdinak zituztela ulertu dezakegu, berriro loturik kultura eta erlijioari loturik. Guede et al. (2017) lanean Tausteko gaur eguneko fauna erabili zuen $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ batezbesteko balioen karbono eta nitrogenoen aldaketak kalkulatzeko. Islamatar gizabanakoek gizaki-fauna aldaketa $\delta^{13}\text{C}$ ‰ 1 dute eta $\delta^{15}\text{N}$ ‰ 4,5, erakutsiz maila trofiko bateko baino nitrogeno aldaketa altuagoa, ur gezako arrainen kontsumoa ere zutela proposatuz.

Hurbileko Kristau komunitateen gizaki-fauna aldaketa ‰ 0,1 eta ‰ 2,7 bitartean daude karbonoarentzat eta ‰ 2,9 eta ‰ 5,2 nitrogenoaren kasuan (4.Taula). Karbonoan gizaki-fauna batezbesteko

aldaketa % 2 baino handiagoa da C4 landareen (artatxikia) kontsumoa proposatzen du edo itsasoko elikagaien kontsumoa. $\delta^{15}\text{N}$ eta $\delta^{13}\text{C}$ korrelazio ezak aztarnategien kokapena kostaldetik urrun eta datu arkeozoologikoei itsasoko elikagaiek jatearen idea baztertzen du, aldiz datu arkeobotanikoei artatxikia jaten zutenera jotzen dute. Trevino eta Las Gobas aztarnategiek nitrogeno batezbesteko handienak erakusten dituzte, animalitik eratorritako proteina gehiago jaten zutela iradokiz. Trebiñon, nitrogenoaren batezbesteko aldaketa % 5,2, trofiko maila baten igoera batetik hurbil, maiz animaliatik eratorritako proteinen kontsumoa zutela iradokitzen du. Izan ere, Trebiñoko biztanleriaren datu arkeologikoei gizarte egitura nagusiki boteredunez osatuta egon litzatekeela proposatzen du, zeinak maiz animalietatik eratorritako proteinak kontsumituko zituzten (Quiros Castillo, 2013a). Aldiz, Las Gobas aztarnategia nekazari komunitatea izatea eta ibaira zegoen distantzia laburra kontuan hartuta, nitrogeno isotopoen balioen batezbestekoaren aldaketa gizaki-faunaren artean maila trofiko batekoa izatea ur gezako arrainen kontsumoarekin lotu daiteke.

4. Taula. Koetaneok diren Iberiar aztarnategietako gizaki eta faunaren $\delta^{13}\text{C}$ (‰) eta $\delta^{15}\text{N}$ (‰) batazbesteko balioak eta gizaki eta faunaren arteko aldakuntza ($\Delta\delta^{13}\text{C}$, $\Delta\delta^{15}\text{N}$).

Aztarnategiak	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)					$\delta^{15}\text{N}$ (‰)			Erreferentziak
	Gizaki	Batazbesteko	Des Sta	Max	Min	Batezbesteko	Des Sta	Max	
Las Gobas (VII-XI)	-18,9	0,6	17,2	19,9	8,7	0,5	9,6	7,7	Lan honetan
Las Gobas (VII-IX)	-18,7	0,5	-18	19,4	8,8	0,6	9,6	8	Lan honetan
Las Gobas (X-XI)	-19,1	0,6	17,2	19,9	8,6	0,4	9,5	7,7	Lan honetan
Aistra (VIII-IX)	-19	1	16,7	-22	7,9	1	12,1	6,8	Quiros. 2013a
Trebiño (XII-XIV)	-19,6	0,7	18,7	-22	9,6	1,2	12	7,5	Quiros. 2013a
Dulantzi (VI-XI)	-19,8	1,4			9,2	1,2			Quiros. 2013b
Zaballa (X-XV)	-19,8	0,7	18,8	21,3	9	0,8	10,4	7,6	Quiros. 2013a
Zornoztegi (XII-XIV)	-18,1	1,1	16,7	9,91	8,3	0,6	9,2	7,5	Quiros. 2013a
Tauste (VIII-X)	-17,7	1,3	14,2	18,9	15	1,4	16,6	9,3	Guede et al 2017
Fauna									
Aistra (VIII-IX)	-21,7	0,3	-21,8	4,0	4,0	1,0	4,7	2,3	Quiros, 2013a
Trebiño (XII-XIV)	-20,6	1,1	-21,3	4,5	4,5	2,1	5,9	5,9	Quiros. 2013a
Dulantzi (VI-XI)	-20,8	0,7	-21,7	6,1	6,1	1,5	9,8	9,8	Quiros. 2013b
Zaballa (X-XV)	-19,9	1,0	-20,6	6,1	6,1	1,8	7,5	7,5	Quiros. 2013a
Zornoztegi (XII-XIV)	-20,2	2,2	-22,8	5,3	5,3	1,6	7,4	7,4	Quiros. 2013a
Tauste (VIII-X)	-20,6		-23	10,7	10,7		14,5	14,5	Guede et al 2017
Fauna-gizaki	$\Delta\delta^{13}\text{C}$				$\Delta\delta^{15}\text{N}$				

4. Taula. Jarraipena. Koetaneok diren Iberiar aztarnategietako gizaki eta faunaren $\delta^{13}\text{C}$ (‰) eta $\delta^{15}\text{N}$ (‰) batzbesteko balioak eta gizaki eta faunaren arteko aldakuntza ($\Delta\delta^{13}\text{C}$, $\Delta\delta^{15}\text{N}$).

Aztarnategiak		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)			$\delta^{15}\text{N}$ (‰)			Erreferentziak
Gizaki	batzbesteko	Des Sta	Max	Min	Batzbesteko	Des Sta	Max	Min
Aistra (VIII-IX)	2,7				3,9			
Treviño (XII-XIV)	1,0				5,2			
Dulantzi (VI-XI)	1,0				3,1			
Zaballa (X-XV)	0,1				2,9			
Zornoztegi (XII-XIV)	2,1				3,0			
Tauste (VIII-X)	2,9				4,3			

Laburtuz, Erdi Aroko laginen gehiengoa $\Delta\delta^{15}\text{N} \text{‰}6$ azpitik dago, elikadura animalia eratorritako proteina gutxiren kontsumoan oinarritzen zen, Trevinoko gizabanakoak izan ezik. Gizabanakoek erlijio arauen arabera (islamatar edo kristau) elikadura ezberdintasunak erakustea arrunta izango litzateke. Islamatarrek debekatua dute txerria jatea eta halal moduan prestatu ez den haragirik jatea (Insoll 1999; Zaouali 2007). Kristauek Garizuma bezalako estaietan zehar haragia jatea debekatuta dute, guztira urtean 150 egunetan (Tomas 2009), eta beste erlijio ordenetan haragia guztiz debekatua dute (Sesma 1977; Grumett eta Muers 2010). Hala ere, aztarnategien isotope balioek erlijioaren arabera ez dute elikaduran ezberdinatsunik erakusten.

Ondorioak

Datu arkeologikoen Las Gobas aztarnategiko okupazioa bost mendeetan zehar eman zela diote, Goi Erdi Aroan lurralde berrantolatetik herrixken sorrera eman zen arte, eta bi fase markatzen ditu. Gizabanakoen kopurua ez da oso handia, beraz datuen irakurketa kontu handiz egin behar da. Konposizio isotopikoen Erdi Aroko landa biztanleria alderdi sozioekonomiko desberdinei buruzko ikuspegia ematen dute. Hasierako estaietan, komunitate txikiak arrokan egindako etxebizitza batzuen inguruan ezarri ziren, eta geroago, Erdi Aroko herri berri batera mugitu ziren. Nahiz eta herria sortu eta Las Gobas egonlekua utzi, liturgia eta hilobiratze funtzioak mantendu ziren mendeetan zehar. Herriaren sorrerak gizabanakoen mugikortasuna bultzatuz zuen eta Las Gobas aztarnategira mugitu zirenak, batez ere ezkonduetako emakumeak izan ziren. Isotopo egonkorren datuak C3 motatako landareetan (garia eta garagarra) oinarrituta eta animalietatik eratorritako proteina kantitate urria batez ere, txerria eta ardia/ahuntza zuen elikadura orojale

egonkorra zutela erakusten dute. Hala ere, VII. eta IX. mendeetan $\delta^{13}\text{C}$ balioak $\text{‰}-18,2$ –tik hurbil duten gizabanako taldea bereizten da, C4 jatorriko elikagaien (artatxikia kasu) kontsumo handiagoa markatuz, modu zuzen edo fauna jatearen bidez.

Orokorrean, helduen sexuaren edo adinaren arabera ezberdintasunik elikaduran ez da antzeman. Aldiz, datu isotopikoek elikaduran ezberdintasunak islatzen dituzte heldu eta haurren artean, zein edoskitzaroaren efektuarekin lotzen den. Elikadura ezberdintasunak soilik azaltzen dira X. eta XI. mendeetako gazte-helduen artean dagoen sexu lan banaketarengatik, bereizgarria Erdi Aroan zehar. Garaikideak diren Iberiar Penintsulako beste aztarnategiko biztanleriekin aldaraketa egitean Islamiar eta Kristau biztanlerien arteko $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioek ez dute elikaduran ezberdintasunik erakusten.

III. Kapituluua:

Momoitio aztarnategia

“Isotopo egonkorren analisiak dieta eta mugikortasun erduetan oinarrituak Erdi Aroko gizartearen egituraketa soziala ikertzeko: (San Juan de Momoitio (Bizkaia, Ipar Iberiar Penintsula)”

American Journal of Anthropological Science. Under review

Laburpena

Ikerketa honen helburua Erdi Aroan zehar (IX-XII. mendeak) Ipar Iberiar Penintsulako nekazari komunitatearen egitura soziala ikertzea izan da. Dieta eta mugikortasun ereduak ikertu dira $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ eta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopoen bidez, zeinak erlijio, genero ezberdintasun, produktuen erabilgarritasun, ahaidetasun eta maila ekonomikoari buruzko informazioa ematen duten. Guztira San Juan de Momotio aztarnategiko 93 gizabanako ikertu dira (93 hezur eta 63 hortz). Karbono eta nitrogenu balioak hilobi motak definituriko lurperatze estaien araberako aldaketak erakusten dituzte (Behe eta Goi Erdi Aroa), baina ez da ezberdintasunik antzematen gizabanakoen adin eta sexuei dagokionean. Oxigeno eta estrontzio isotopoek gizabanako gehienak lekukoak edo hurbileko jatorria dutela erakusten dute, eta bost gizabanakok soilik erakusten dute kanpotarra izango litzatekeen balioa. Bost gizabanako hauen jatorria Atlantiar kostaldea izan zitekeen (seguruenerik Frantziako hego ekialdea). Karbono eta nitrogenu balioek dieta egonkorra zutela erakusten dute, zeinak zerealetan (biak C4 eta C3 motak), barazki eta lekaleetan oinarritua zegoen, abeltzaintza eta itsasoko baliabideekin konbinatuz. Dieta ohituran aldaketak ez dute genero ezberdintasunaren islapenik, baina nekazal gizar-tean Goi Erdi Aroan zeharreko egituraketa eta aldaketak islatzen ditu. Goi Erdi Aroan zehar artatxikiaren kontsumoa handitu egin zen eta hilerriaren abandonatze gradualarekin bat dator. Nitrogenu eta oxigeno isotopoen konposizioak lagungarriak izan dira umeen hilkortasun tasa handia ulertu ahal izateko, zein bularreko esnea kentzearekin lotua dagoen egiazta zeko. Mugikortasun ereduak erakusten du gutxienez hiru eskualdeko jatorria dutela kanpotarrek. Bestalde, hortzen oxigeno

isotopoek aztarnategiaren bizitzan zehar eman ahalko ziren aldaketa klimatikoak gorde ditzakete.

Sarrera

Europar Erdi Aroak, Erromatar Imperioa erori zenetik Errenazentismora bitarteko tarte hartzen du, V. eta XV. mendeak alegia. Lehenengo estadia Behe Erdi Aroa da eta VI. eta X mendeen artean zabaltzen da, ondoren Goi Erdi Aroa dugu zein XI. eta XIII. mendean artean kokatzen dena, azkenik Berantiar Erdi Aroa dugu IVX. eta XV. mendeak hartzen dituelarik.

Iberiar Penintsula Erdi Aroa Islamiarren konkista eta presentziarekin definitua dago, alegia VIII. eta XV. mende bitartean. Nahiz eta Islamatarren okupazioa zabala izan, Penintsularen iparraldea, Kristauen menpeko eskualdea izaten jarraitu zuen.

Iberiar Penintsula beste eskualdeetan ez bezala, eskualde honetan gotorlekuak ez zuten lurraldea artikulatu. Behe Erdi Aroan, Iberiar Penintsulako ipar-mendebaldeko eskualdearen egituraketa elite lokalen eta elizen inguruan eraikitako nekazal komunitateetan organizaturik zeuden. Nekazal paisaia zertxobait sakabanatua azaltzen da, herrixka edo landa-egitura falta zein baserri txikiz osatuak daudelarik. Goi Erdi Aroan paisaiak, herrien sarea sortzean, aldaketa nabarmena jasan zuen.

Erdi Aroko nekazal esparruan, San Juan de Momoitio komunitate txikia erdi-sakabanatuta zegoen muinoetan, hau eliza edota hilerria loturik (Garcia Camino, 2004). Eliza eta hilerriak ez zuten zeresanik herrien sorreran, baina nekazariak kontrolatzeko tresna izan ziren. Goi Erdi Aroan hainbat eliza eta hilerri eraiki ziren, San Juan de Momoitio aztarnategia barne, elizaren birrantolaketa prozesuarekin zerikusia duten

lurraldeak egitura feudalak eta erakundeak nekazaritza gizartearen aldaketa sakona eragin zuten, eta hilerrien abandonatzea ere ekarri zuen.

Ikerketa honen funtsa Erdi Aroko nekazari gizartearen egitura eta eliza komunitatearen birrantolaketaren ondorioz eman ziren aldaketak ikertzea izan da. Kontextu historiko eta geografiko honetan kokatzen den Erdi Aroko San Juan de Momoioko gizartean paleodieta eta mugikortasun analisia egiteak Erdi Aroko bi faseetan (IX-XI. eta XII. mendeak) emandako aldaketak antzematea ahalbidetu dezake.

Karbono eta nitrogeno isotopo egonkorak

Karbono eta nitrogeno isotopo egonkorren konposizioak neurtuak dira isotopo pisutsua eta isotopo arinaren arteko erlazioa bezala ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ edo $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) eta milakotan ematen da (‰), internazionalki definitutako karbono (*Vienna Pee Dee Belemnite, VPDB*) eta nitrogeno (*Ambient Inhalable Reservoir, AIR*) estandarrekiko eta delta estandarra (δ) bezala ematen dira balioak. Karbono ($\delta^{13}\text{C}$) eta nitrogeno ($\delta^{15}\text{N}$) isotopo egonkorren erlazioak hezurren kolagenoan analizatuak dira. Kolagenoa hezur aztarnen proteina ugariena da eta normalean ondo kontserbatzen da (Katzenberg eta Saunders, 2000; Lee-LeeThorp, 2008). $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ isotopoen konposizioak dietaren parte ziren proteinen jatorria jakitea ahalbidetzen du (Ambrose eta Norr, 1993), baina ezin da elikagairik identifikatu (Richards eta Hedges, 1999).

Karbono isotopoen konposizioa fotosintesiaren bidez landareek atmosferatik hartzen duten karbono isotopoaren araberakoa da (Bender, 1968). Bi landare talde handi bereiztu ahal dira, C3 landareak garia (*Triticum aestivum*) eta garagar kasu (*Hordeum vulgare*), eta C 4

landareak artatxikia (*Panicum/Setaria*) eta basartoa adibidez (*Sorghum spp.*). Lurreko ekosistemetan, karbono isotopoak erabili daitezke C3 eta C4 landareen edo landare horiek kontsumitu zituzten animala/gizakiak bereizteko. (Katzenberg eta Saunders, 2000; Lee-Thorp, 2008; Schoeninger, 1995; Schwarcz eta Schoeninger, 1991). C3 landareak isotopo arina hatzeko joera dute (^{12}C) aldiz C4 landareek, isotopo pisutsua hartzen dute (^{13}C), horrela C4 landareak aberastuak daude $\delta^{13}\text{C}$. Horrenbestez, $\delta^{13}\text{C}$ balioak C3 landareentzako ‰ -20 eta ‰ -38 artean daude, eta C4 landareen balioak ‰ -9 eta ‰ -15 artean (Bender, 1968; Park eta Epstein, 1961).

$\delta^{15}\text{N}$ balioak kontsumitutako proteinen jatorriari buruzko informazioa ematen du (itsastar/lurtar ekosistemak) eta baita maila trofikoaren inguruko informazioa ere (DeNiro eta Epstein, 1981). Gainera, nitrogenu isotopoen frakzionazioak dieta eta giza ehunen $\delta^{15}\text{N}$ balioen ‰ 3-5 (batazbestekoa ‰ 3) aberastea dakar, zein maila trofiko bezala ezagutzen den. Itsastar ekosisteman, kate trofikoan maila gehiago izateak $\delta^{15}\text{N}$ balio altuagoak ematen ditu (Richards eta Hedges, 1999). $\delta^{13}\text{C}$ kasuan, maila trofiko bakoitzeko aberastea ‰ ≈ 1 da soilik (Ambrose, 1990; DeNiro eta Epstein, 1978; Hedges eta Reynard, 2007; Malainey, 2011).

Nitrogenu isotopo egonkorak edoskitze eta esne kentzea noiz eman diren ikertzeko ere erabiltzen dira. Hurrek amarekin alderatuta $\delta^{15}\text{N}$ balioak ‰ 2-3 altuagoak dituzte edoskitzea dugunean, aldiz $\delta^{15}\text{N}$ balio baxuak esne-kentzea markatzen dute (Fogel et al., 1989).

Estrontzio eta oxigeno isotopoak

Estrontzio eta oxigeno isotopoak, bi isotopo sistema independienteak dira, non estrontzioak geologia lokala islatzen duen eta oxigenoak geografia; horrela biak erabili ahal dira antzinako biztanlerien mugikortasuna birreraikitzeo. Bi isotopo sistema hauen konbinaketak, jatorri eskualdeari buruzko informazioa ematen du, beraz gizabanakoen mugikortasun patroiak birreraikitzea ahalbidetuz (Bentley eta Knipper, 2005; Evans et al., 2006a; Evans et al., 2006b). Oxigeno eta estrontzio isotopoen datuek ez dute zuzenean gizabanakoen jatorri eskualdea mugatzen. Gizabanakoen jatorria determinatzeko, gizakien isotope balioak alderatu behar dira lurperatuak izan ziren eskualdeko balioekiko. Gizabanakoaren estrontzio edota oxigeno isotopoen balioak eskualdeko balioen antzekoak direnean, gizakia lokala dela kontsideratzen da, aldiz balioak bat ez datozenean, kanpotarra dela kontsideratzen da.

Estrontzioak lau isotope egonkor ditu (^{88}Sr , ^{87}Sr , ^{86}Sr , ^{84}Sr) zeinetatik ^{87}Sr erradiogenikoa den, ^{87}Rb eratorria eta beraz naturan bere edukia aldakorra duen. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioa sistema itxia da, jatorrizko $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioak, Rb/Sr erlazioa eta igarotako denboraren menpe dago (Faure eta Powell 1972). Lurzoru geologiko ezberdinak $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazio aldakorra izatea dakar, lurzoru geologikoaren adina eta mineralen Sr aberastasunaren arabera. Estrontzio isotopoen konposizioak ez du erakusten gorputzeko prozesu metabolikoen ondoriozko frakzionaziorik, beraz jatorrizko geologi eskualdeko estrontzioa islatzen du. Estrontzio isotopo erlazioak ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), batez ere arroka amaren geologia islatzen du, baina $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ modifikatu daiteke beste jatorria duen estrontzioarekin, esaterako kontinenteen jitoa, itsas aerosola edo

haizeak ekarritakoa (Bentley, 2006; Montgomery et al., 2007; Price et al., 2002).

Nola eta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ lokala ingurunetik hartzen den, beharrezkoa da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ lokala ezagutzea. Estrontzio isotopo konposizio lokala determinatzeko lurzoru, ur, landare, gaur egungo fauna eta fauna arkeologikoa erabiltzen dira (Bentley et al., 2004; Evans et al., 2010; Tütken et al., 2011).

Estrontzio isotopoak hezur eta hortzen fosfatoan neurtzen dira, isotopo hauek ur eta elikagaiak kontsumitzean eskeletoan barneratzen dira, hezurak osatzen dituen fosfatoko kaltzinoa ordezkatuz. Hortzetan, estrontzio isotopoak esmalteko kaltzinoa ordezkatzen du hortza hartzen doan heinean, eta ez du elementurik barneratzen bere eraketa bukatu ostean (Hillson, 1996; Hoppe et al., 2003). Horrela, esmalteak haurtzaroan zeharreko egoitza eskualdearen konposizio islatzen du, aldiz hezurak jarraiki birmodelatzen dira gizabanakoaren azken urteetako konposizioa islatuz. Hau beteko da, gizabanakoak kontsumitutako elikagaiak bizi izan deneko lekukoak baldin badira.

Oxigeno isotopoek eskualde bateko karakterizazio geografikoa markatzen dute, zein edandako uren konposizio isotopikoak islatzen duen, zein eskualdeka aldakorra den parametro klimatikoen arabera (Darling et al., 2006; Daux et al., 2008; Longinelli, 1984; White et al., 1998). Lurreko prezipitazioen aldakortasun isotopikoak azalduak daude Rayleigh frakzionazioaren bidez, zein aire masen bidez ematen den. Kondentsatutako urak ^{18}O isotopoa izaten du, aldiz gas faseak aberastua dago ^{16}O . Pisutsua den isotopoa sistematik kanpo gelditzen den ahala, gas fasea arinagoa bihurtzen joaten da. Horrela, leku konkretu bateko prezipitazioaren konposizio isotopikoa ingurugiro parametro batzuen

menpe dago: latitude, altitude, kostaldetik dagoen distantzia, prezipitazio kopurua, estazioak eta airearen tenperatura (Dansgaard, 1964; Rozanski et al., 1993).

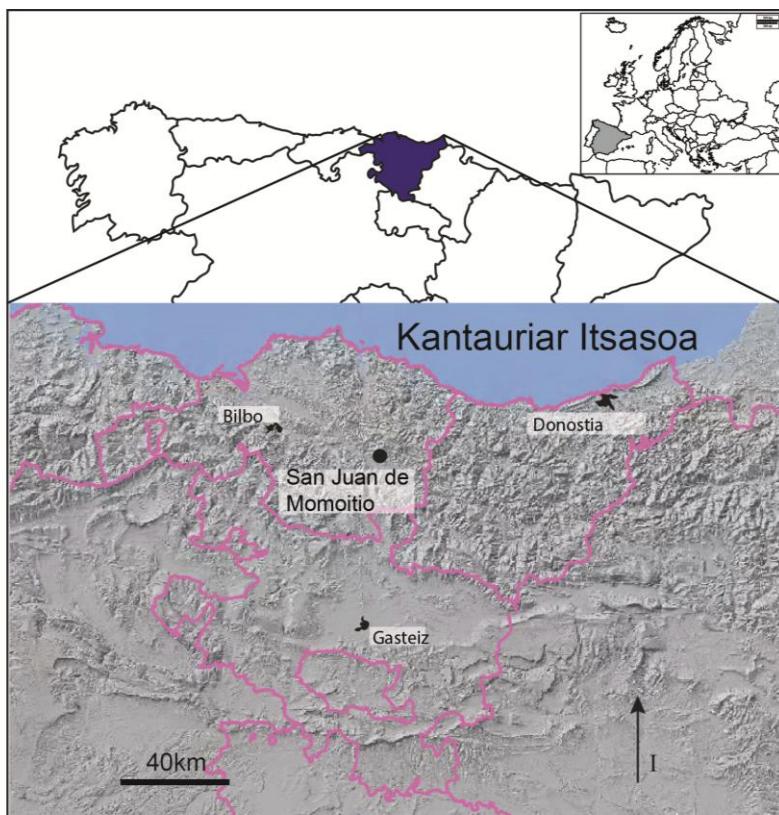
Edaten den ura hurbileko ibai eta lurazpiko uretan dute jatorria, zeintzuk lotuak dauden prezipitazioari. Kontsumituriko urak, edandakoaz gain elikaietatik datorrena ere dira. Bi urak, prezipitaziotik eratorriak dira, eta eskualdeko prezipitazioaren baldintza klimatikoen islapena dira. Esne kontsumoak $\delta^{18}\text{O}$ -an efektua du. Giza (edoskitze efektua) eta animalietatik eratorritako esnea frakzionazio metabolikoak medio aberastua dago kontsumitutako urarekin alderatuz gero. Izan ere, oxigeno isotopoak gorputzean frakzionazio metabolikoa jasaten ditu, uretik eskeletoaren fosfatora pasatzean. Frakzionazio hau nahiko ondo ezagutzen da eta edandako uraren ($\delta^{18}\text{O}_{\text{dw}}$) isotopo erlazioa kalkulatu daiteke handia den errorearekin (Bryant eta Froelich, 1995; Iacumin eta Venturelli, 2015; Levinson et al., 1987; Luz et al., 1984; Luz eta Kolodny, 1985). Prezipitazio lokalaren $\delta^{18}\text{O}$ jakiteko, IAEA datu basea erabili daiteke (i.e. <http://www.iaea.org/water>).

Hortzetako esmaltea materiala egokiena da estrontzio eta oxigeno isotopo analisiak egiteko, hortzak eratzen deneko konposizioa islatzen duelako eta prozesu diagenetikoaren aurrean kontserbazio hobeagoa duelako (Budd et al., 2000; Hillson 1996; Hoppe et al., 2003).

Testuinguru arkeologikoa

San Juan de Momotio aztarnategia Garai herrian, Oiz mendian kokatzen da (Bizkaia, Espainia iparraldea) (1. Irudia). Aztarnategia

Atlantikoko kostaldetik gertu dago, Bizkaiko Golkoko ekialdeko muturrean, Iberiar Penintsulako iparraldean. Kostaldearen parean dagoen mendi-eremu eskualdea bi eremu geografiko desberdinetan banatzen du: iparraldekoa, erdia kostaldera iristen den haran estua eta hegoaldekoa eskualde laua. Ezaugarri geografiko honek bi lurraldeetako paisaiak modu ezberdinetan aldatu zituen.

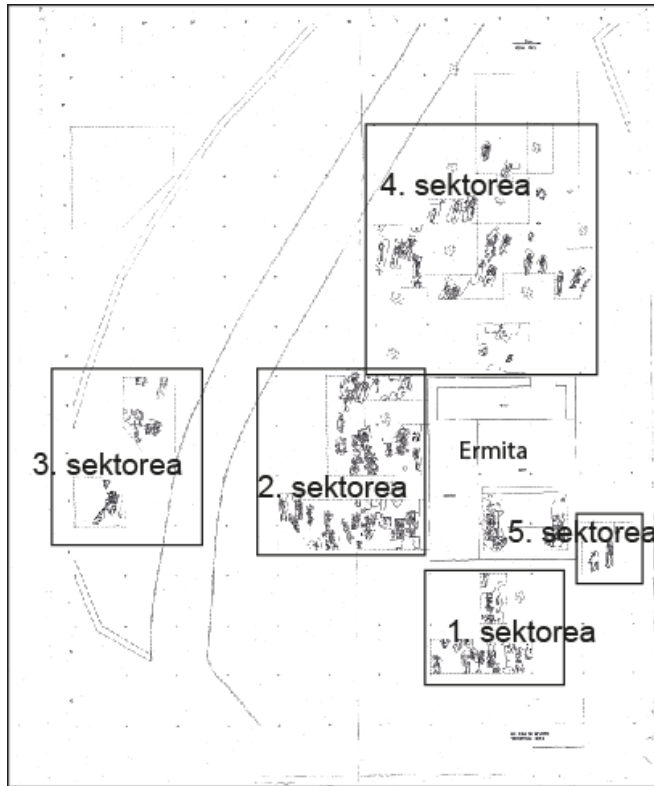


1. Irudia. San Juan de Momoitio aztarnategiaren kokapena.

San Juan de Momoitio hilerria IX. mendeko eraikuntza erlijiosoaren inguruan dago. Hilobiak lurzoruan induskatuak daude, eta gehienek harrizko estaldia dute. Hiru hilobi mota bereizten dira:

banakako zulo, partzialki mugatutako hilobia, eta harri-lerrokatutako hilobiak. Gainera estelak ere aurkitu dira, gehienek ez dute inskripziorik baina batzuek Jainkoari deitzeko “In Nomine Dei...” expresioa azaltzen dute. Bizkaiko hilobietan, fase hau testuinguru arkeologikotik kanpo gelditzea ohikoa da eta XI. mendean datatutako ezaugarri epigrafikoen arabera Kristautasunaren seinaleak aurkitzea ere.

Momoitioko hilerria 113 hilobiz osatuta dago, eta ekimendebalderako orientazioa erakusten dute. Hilerria bost sektoreetan banatzen da (2. Irudia). Hilerria hedatzen da denboran zehar 1. sektoretik 5. sektorera bitartean. 1, 2 eta 3 sektoreak Behe Erdi Aroako okupazioaren lehengo fasea betetzen dute (IX-XII. mendeak) eta hilobien dentsitate altua eta ordenatze gabekoak izateak ezaugarritzen ditu. 2. sektorean bi gizon (SJG-15 eta SJG-22) nabarmentzen dira, egurrezko hilobian lurperatu zirelako eta atiak erakusteagatik. 4. sektoreak ermitaren mendebaldean kokatzen da, hilobien sakabanaketa handiagoa erakusten duelarik eta okupazioaren bigarren faseari dagokio (XII. mendea, Goi Erdi Aroa). 5. sektorean bakarrik hiru hilobi daude eta ezin izan da kokatu hilerriko zein momenturi dagokien. Lehenengo fasea ez bezala non hilobi mota guztiak azaltzen diren, bigarren fasean aldiz hilobien barietatea urriagoa da (1. taula, 3. Irudia). XIII. mendearen amaieran eta XIV. mendearen hasieratik aurrera elizaren birrantolaketa dela eta ez zen hilerria gehiago erabili (Garcia Camino, 2002).



2. Irudia. Induskatutako sektoreen airepeko ikuspegia, ikertutako gizabanakoak erakutsiz.



3. Irudia. Hilobi motak. A) harriz mugatutako hilobia eta B) partzialki mugatutako hilobia.

1. Taula. San Juan de Momoitio aztarnategiko gizaki herzur eta hortzen estrontzio, karbono, nitrogeno eta oxigeno isotopoen emaitzak.

Laginak	Hortz mota	Sexua	Adina	Hilobia	Sektorea	%N	‰ $\delta^{15}\text{N}$	%C	‰ $\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{V-SMOW})}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE (%)
SJG-1	M2	?	G	A	4	14,54	10,05	41,54	-15,58	3,34	17,7	0,709333	0,00001
SJG-2		G	G-H	A	4	13,45	9,25	38,34	-15,28	3,32			
SJG-3		E	G-H	A	2	14,88	9,36	42,15	-16,45	3,30			
SJG-4	M2	G	Z	B	2	14,98	9,67	43,45	-18,2	3,38	18,0	0,70880	0,00001
SJG-5	M2	G	G	B	2	15,27	9,8	43,22	-17,54	3,30	18,5	0,70968	0,00001
SJG-6		G	G-H	C	2	14,43	9,59	43,10	-19,33	3,50			
SJG-7		G	Z	A	1	15,69	9,71	44,29	-16,63	3,29			
SJG-8	E1	E	G-H	B	1	11,39	9,48	32,45	-16,36	3,33	19,1	0,708736	0,00001
SJG-9	M3	E	G-H	A	1	12,36	9,35	36,87	-14,48	3,48	18,1	0,71001	0,00001
SJG-10	M1	E	G-H	A	1	10,64	9,54	34,47	-17,16	3,78	18,0	0,708438	0,00002
SJG-11	M1	E	G-H	A	1	15,22	9,48	43,71	-15,5	3,34	17,9	0,70894	0,00001
SJG-12	M2	E	G-H	A	1	14,59	9,59	41,82	-16,18	3,34	17,2	0,709076	0,00001
SJG-13	M3	G	Z	C	2	14,79	9,67	43,24	-17,83	3,41	17,0	0,70904	0,00001
SJG-14		E	G-H	A	2	13,80	9,71	41,75	-18,05	3,53			
SJG-15	L	G	G-H	A	2	14,41	9,97	41,31	-16,8	3,34	19,0	0,709318	0,00001
SJG-16	P4	?	G	A	2	15,16	8,94	43,41	-15,8	3,36	18,7	0,710014	0,00002
SJG-17	M1	?	H	A	2	9,70	9,7	41,30	-16,73	3,37	18,2	0,708425	0,00001
SJG-18		G	H	B	2	9,18	9,18	41,77	-18,22	3,35			
SJG-19	P4	E	Z	B	2	9,52	9,52	42,18	-16,56	3,42	18,8	0,70924	0,00001

1. Taula. Jarraipena. San Juan de Momoitio aztarnategiko gizaki herzur eta hortzen estrontzio, karbono, nitrogeno eta oxigeno isotopoen emaitzak.

Laginak	Hortz mota	Sexua	Adina	Hilobia	Sektorea	%N	‰ $\delta^{15}\text{N}$	%C	‰ $\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{V-SMOW})}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE (%)
SJG-20	E1	G	Ma	C	2	10,45	10,45	36,64	-18,11	3,43	18,4	0,709728	0,00001
SJG-21		G	G-A	?	2	14,17	9,41	40,84	-16,76	3,36			
SJG-22	M1	G	G-A	B	2	11,56	9,17	-16,41	-16,41	3,43	19,8	0,709525	0,00002
SJG-23		G	G-A	A	2	13,05	9,56	-16,24	-16,24	3,46			
SJG-24	M3	G	G-H	B	2	9,68	9,98	-17,11	-17,11	3,51	18,7	0,70874	0,00001
SJG-25		G	Z	B	4	14,16	9,7	-16,87	-16,87	3,42			
SJG-26	P4	G	G-H	A	4	14,07	9,15	41,61	-15,94	3,46	19,4	0,70952	0,00001
SJG-27	M1	G	A	A	4	13,58	9,68	-15,48	-15,48	3,44	18,4	0,70922	0,00002
SJG-28	M2	E	G-H	B	4	14,25	9,75	-16,56	-16,56	3,41	18,5	0,70887	0,00001
SJG-29	E2	G	Z	B	4	13,83	9,91	-15,95	-15,95	3,41	18,8	0,708840	0,00002
SJG-30		E	Z	B	4	11,37	9,37	32,95	-16,40	3,38			
SJG-31	?	?	H	B	4	14,07	9,95	-14,57	-14,57	3,28	18,6	0,709275	0,00002
SJG-32		E	H	B	4	13,50	10,08	39,26	-17,39	3,39			
SJG-33	M3	G	G-H	B	4	11,08	10,31	33,21	-15,44	3,50	18,3	0,708639	0,00002
SJG-34	P4	E	H	A	4	13,49	9,49	39,16	-17,02	3,39	17,0	0,708936	0,00002
SJG-35	M3	G	Z	B	4	11,73	9,81	34,83	-16,89	3,46	16,0	0,70930	0,00001
SJG-36	M2	?	H	A	4	14,02	9,52	40,19	-15,89	3,36	18,0	0,709461	0,00002
SJG-37		E	G-H	B	4	15,68	10,15	44,01	-16,22	3,27			

1. Taula. Jarraipena. San Juan de Momoitio aztarnategiko gizaki herzur eta hortzen estrontzio, karbono, nitrogeno eta oxigeno isotopoen emaitzak.

Laginak	Hortz mota	Sexua	Adina	Hilobia	Sektorea	%N	‰ $\delta^{15}\text{N}$	%C	‰ $\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{V-SMOW})}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE (%)
SJG-38	M2	G	H	A	4	14,61	8,83	42,68	-15,8	3,41	17,8	0,709096	0,00001
SJG-40		E	H	A	4	14,28	9,18	41,67	-15,78	3,40			
SJG-41	M2	E	H	A	4	14,27	9,33	40,79	-15,98	3,33	18,3	0,70888	0,00001
SJG-42		E	H	B	3	15,66	8,99	-17,63	-17,63	3,34			
SJG-43	M2	E	G-H	B	2	13,12	10	-17,67	-17,67	3,40	17,0	0,70861	0,00001
SJG-44	M1	G	G-H	?	2	13,55	9,53	-15,01	-15,01	3,39	18,6	0,709654	0,00001
SJG-45		?	G-H	B	2	13,31	10,52	-15,73	-15,73	3,37			
SJG-46	M2	?	G	?	2	15,91	9,71	44,62	-17,14	3,28	18,4	0,709300	0,00002
SJG-47		E	G-H	B	2	10,21	10,21	38,24	-16,12	3,22			
SJG-48		?	H	A	2	10,17	10,17	35,88	-16,56	3,23			
SJG-49	P4	E	G-H	A	2						18,5	0,709456	0,00001
SJG-50		?	G	C	2	10,28	10,28	36,85	-19,2	3,59			
SJG-51	M1	?	G-H	A	2	14,63	10,31	42,19	-17,9	3,35	18,6	0,708843	0,00001
SJG-52		?	H	A	2	6,05	10,57	21,46	-17,52	4,14			
SJG-53	M1	?	G-H	A	5	13,93	10,01	40,22	-18,12	3,37	18,5	0,708825	0,00001
SJG-55		G	H	A	5	12,84	10,45	37,72	-15,78	3,43			
SJG-56		?	?	?	?	5,17	10,11	16,49	-17,50	3,72			
SJG-57		?	?	?	?	12,05	11,27	34,83	-18,54	3,34			

1. Taula. Jarraipena. San Juan de Momoitio aztarnategiko gizaki herzur eta hortzen estrontzio, karbono, nitrogeno eta oxigeno isotopoen emaitzak.

Laginak	Hortz mota	Sexua	Adina	Hilobia	Sektorea	%N	‰ $\delta^{15}\text{N}$	%C	‰ $\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{V-SMOW})}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE (%)
SJG-61		E	H	?	?	8,33	9,37	-17,72	-17,72	3,67			
SJG-62		G	H	?	?	3,40	9,63	-18,93	-18,93	4,52			
SJG-64		?	G-H	B	3	14,92	10,4	-16,53	-17,72	3,32			
SJG-65		?	G-H	B	3	13,04	10,03	39,20	-16,48	3,50			
SJG-66	M1	E	G-H	C	3	10,57	10,57	34,49	-17,1	3,60	18,2	0,709515	0,00001
SJG-72	L	?	U	B	1	12,78	10,78	34,66	-14,38	3,37	20,2	0,708971	0,00001
SJG-73	M2	?	U	A	1	12,06	10,06	29,93	-15,03	3,56	19,4	0,70894	0,00001
SJG-74	M1	?	U	A	1	9,58	9,58	34,87	-16,56	3,342	19,3	0,708605	0,00002
SJG-75	M2	?	U	B	1	10,42	12,99	30,56	-17,11	3,47	17,0	0,708497	0,00002
SJG-77	M2	?	U	B	1	13,82	9,86	39,46	-16,7	3,33	17,5	0,708563	0,00001
SJG-78	M1	?	U	?	?	15,55	12,68	43,42	-13,3	3,26	18,9	0,708982	0,00001
SJG-80	M1	?	U	?	2	5,21	9,48	16,22	-18,67	3,65	19,7	0,708521	0,00002
SJG-81	M2	?	U	B	2	14,28	9,95	40,30	-18,1	3,29	20,2	0,70899	0,00001
SJG-82	M2	?	UII	A	2	14,82	8,92	42,03	-18,56	3,31	18,4	0,708680	0,00001
SJG-83	P3	?	UII	A	2	15,65	9,44	43,18	-14,41	3,22	17,2	0,709398	0,00001
SJG-84	M2	?	U	A	2	14,70	9,85	41,05	-16,94	3,26	19,6	0,708372	0,00001
SJG-85	M2	?	U	A	2	13,16	10,13	37,28	-16,18	3,24	17,2	0,708347	0,00001
SJG-87	M1	?	U	A	2	14,99	11,43	41,98	-16,87	3,26	19,8	0,708658	0,00001

1. Taula. Jarraipena. San Juan de Momoitio aztarnategiko gizaki herzur eta hortzen estrontzio, karbono, nitrogeno eta oxigeno isotopoen emaitzak.

Laginak	Hortz mota	Sexua	Adina	Hilobia	Sektorea	%N	‰ $\delta^{15}\text{N}$	%C	‰ $\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{V-SMOW})}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE (%)
SJG-88	P3	?	U	C	2	12,78	9,48	35,77	-17,23	3,27	19,9	0,709422	0,00001
SJG-89	M2	?	U	A	2	9,85	10,75	28,42	-17,77	3,37	18,2	0,708739	0,00002
SJG-90	M1	?	UII	C	2	14,86	9,49	41,54	-15,45	3,25	18,6	0,708837	0,00001
SJG-91	L	?	UII	A	2	14,03	9,23	40,07	-16,13	3,33	18,8	0,708656	0,00002
SJG-92	E2	?	U	A	2	12,89	13	36,13	-19,11	3,27	19,4	0,708298	0,00002
SJG-93	M1	?	U	A	2	13,88	11,34	38,73	-17,65	3,26	19,6	0,708743	0,00001
SJG-94	M2	?	U	?	2	8,29	10,55	25,22	-18,64	3,55	18,9	0,708977	0,00001
SJG-95	E2	?	U	A	2	14,02	8,89	39,78	-17,03	3,33	20,4	0,708634	0,00001
SJG-96	M2	?	U	B	2	13,42	9,25	37,85	-17,28	3,29	18,8	0,708837	0,00001
SJG-97	M2	?	UII	A	2	13,08	9,6	37,40	-16,64	3,34	18,7	0,70862	0,00001
SJG-98	M2	?	U	C	3	7,80	12,46	26,57	-18,56	3,97	18,0	0,708564	0,00001
SJG-99	M2	?	U	C	3	12,11	13,12	37,51	-16,00	3,61	19,2	0,708295	0,00002
SJG-100		?	U	B	4	15,61	8,84	44,24	-18,42	3,32			
SJG 101	M1	?	U	B	4	13,99	8,43	40,84	-16,55	3,41		0,708631	0,00001
SJG-102	E1	?	U	D	4	10,04	11,6	30,33	-17,12	3,52		0,708244	0,00001
SJG-103		?	U	A	4	14,80	9,29	42,17	-16,24	3,32			
SJG-104	M2	?	U	A	4	15,47	8,5	42,66	-14,31	3,22	18,0	0,70868	0,00002
SJG-106	E2	?	UII	?	4						18,2	0,708611	0,00001

1. Taula. Jarraipena. San Juan de Momoitio aztarnategiko gizaki herzur eta hortzen estrontzio, karbono, nitrogeno eta oxigeno isotopoen emaitzak.

Laginak	Hortz mota	Sexua	Adina	Hilobia	Sektorea	%N	‰ $\delta^{15}\text{N}$	%C	‰ $\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{V-SMOW})}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE (%)
209		?	U	?	?	14,91	7,85	42,28	-19,51	3,28			
211		?	U	?	?	8,38	11,67	23,98	-18,78	3,34			
Ent 4210		?	?	?	?	16,55	10,78	44,95	-18,38	3,17			

L: letagin; E1: ebakortz 1; E2: ebakortz 2; M1: molarra 1 M2: molarra 2 M3: molarra 3; P3:aurreko hagin 3 P4:aurreko hagin 4; G: Gizona, E: Emakumea; Ga: Gaztea, G-H: Gazte-heldua; U: Ume I; Uii: Ume II H: Heldua; Z: Zaharra A banakako zulo;; B: partzialki mugatutako hilobia; C harriz mugatutako hilobia

Materialak eta Metodoak

San Juan de Momoitiko larogeita hamahiru gizaki hezur analizatu dira karbono eta nitrogeno isotopoen bidez dieta ikerketzeko, eta 63 hortz analizatu dira mugikortasun patrioiak aztertzeko estrontzio ta oxigeno isotopoak erabiliz. Gainera, 10 fauna hezur lagin analizatu dira karbono eta nitrogeno oinarriko isotopo konposizio lortzeko. Estrontzio isotopo konposizio oinarria definitzeko 6 fauna lagin, 2 lurzoru eta 2 ibaiko ur lagin erabili dira. Lurzoru laginak hilerriaren leku ezberdinaten hartu dira eta ibaiko ura Momoitiotik hurbileko errekatik hartu dira. Urak ibaiko ertzean hartu dira eta analisiak egin aurretik izan ahal zituen partikulak kentzeko iragazi dira.

Analizatutako gizakiak 20 emakume, 23 gizon eta sexu indeterminatuko 50 laginei dagozkie (Arenal Fernandez, 1992). Gizabanakoak I ume (0-7 urte), II ume (8-12 urte), nerabe (14-20 urte), gazte (20-40 urte), heldu (40-60 urte) eta zahar (60 baino gehiago) bezala sailkatuak daude (Arenal Fernandez, 1992). Sexuaren determinazioa dimorfismo patrio klasikoekin egin da (W.E.A., 1980) eta adina definitzen da izte epifasiko, burezurreko suture eta hortzen ateratze aldaketekin (Eguía, 1982; Brothwell, 1981; Perizonius eta Pot, 1981; W.E.A., 1980).

Dietaren ikerketak hezurako kolagenoan egin dira. Aukeratutako materialak, ahal izan denean, saiheutsak eta hezur zatiak izan dira. Hezurak bainu ultrasonikoen bidez garbitu dira, 30 minutuz ur distilatuarekin hainbat alditan eta ondoren, ur ultrapuruarekin pasatu dira lurperatzearen ondoriozko ezpurutasunak kentzeko.

Hezurreko kolagenoa Bocherens et al., (1991) -ren prozedura jarraituz lortu da. 300 mg hezur desmineralizatu dira 1ml HCl-an 20

minutuz giroko tenperaturan. Laginak ur distilatuarekin garbitu dira eta 5ml NaOH (0,125N) gehitu zaizkio, azido humikoa kentzeko. Ondoren berriz garbitu dira laginak ur distilatuarekin eta gelatinizatu dira pH3 ko HCl soluzioa gehituz 17 orduz 90 gradutan. Laginak filtratu dira, kolagena izoztu eta azkenik liofilizatu egin da.

Kolagena (2,5-3,5 mg) estainuzko kapsuletan kargatu da analisi isotopikorako. Karbono eta nitrogeno isotopoak Iso-Analytical –en (Cheshire, Erresuma Batua) duten fluxu jarraiko isotopo erlazio masa espektrometroan (EA-IRMS) egin dira.

NBS-1577B estandarra eta IA-R045 sulfato amonioaren estandarren analisi multipleak egin dira laginen analisiak egin bitartean kalitate kontrolarentzako. NBS-1577B estandararen emaitzak $\delta^{13}\text{CV-PDB} = \text{‰} -21,61 \pm 0,05$ (s, n = 18) eta $\delta^{15}\text{NAir} = \text{‰} 7,61 \pm 0,12$ (s, n = 18).

Ura laginak iragazi dira (mintza iragazia 0,45 μm) ondoren 10 ml-ko alikuota 15ml-ko tefloizko ontzi batera (Savillex TM) pasa dira eta, 80 gradutan lurrundu egin dira, azkenik 1,5ml 2N HNO_3 gehitu zaie disolbatzeko.

Hezur eta hortz esmaltearen analisiak estrontzio eta oxigeno isotopo konposizioa determinatzeko eta gizabanakoen jatorria lortzeko erabili dira. Lehenik, laginak garbitu dira bainu ultrasonikoen bidez, ezpurutasunak kentzeko eta horrela, kutsadura ekiditeko.

Konkretuki, estrontzio isotopoak analisientzako esmalte frakzioa hartu da diamantezko zulagailu batekin (MF-perfect, W eta H Dentalwork, Bürmoos, Austria). Esmaltearen lagina hortzarekiko zeharka hartu da. Esmalte eta hezur laginak (10 mg) 7ml-ko Savillex ontzietan

disolbatu dira 1,5 ml 2N HNO₃ rekin (Minnetonka, EEUU) (analisi gradua destilazio subboiling bidez araztua). Konposizio isotopiko lokala finkatzeko, aztarnategi inguruko bi ur lagin eta lau lurzoru lagin analizatu dira. 15 ml ur lurrundu dira eta ondoren 2ml HNO₃ –tan disolbatu dira, aldiz 1g lurzoru lagin 2,5 ml 1M nitrato amonioan garbitu dira eta 8 ordu pasa ondoren estrontzio bioeskuragarri lortu da. Laginak zentrifugatu ondoren 15 minutuz 3000 rpm, eta ebaporatu ondoren, berriro ere disolbatu dira 2ml HNO₃ gehituz. Disoluzioak estrontzio selektibozko Sr.spec[®] erretxinadun (ElChroM industries, Dariel, IL, USA) zutabeetan gehitu dira. Erretxina lagina egin ondoren bota egin da. Estrontzio prozesu hutsuneak 100gp baino baxuagoa izan da eta beraz ekarpen txikia ematen zuen.

Estrontzio isotopoen analisiak Euskal Herriko Unibertsitateko Ikerkuntzarako zerbitzu orokorreko Neptune detektagailu anitzeko induktiboki akoplatutako plasma iturridun bereizmen handiko masa-espektrometroan (MC-ICP-MS) egin dira. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr neurketak kripton (Kr) eta errubidio (Rb) bidez zuzendu dira eta ekipoaren masa-alborapena ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 8,375209 bidez normalizatu da. NIST SRM-987 estandar internazionalaren hainbat neurketek ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0,710262 ± 0,000026 (2σ, n = 3) eman dute. Epe luzerako ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr balioa, hogeita bi hilabetean zehaztu zen, 0,710266 ± 0.000021 (2σ, n = 47).

Hortz esmalteko oxigeno isotopo analisiak egiteko prozedura Stephan (2000)-ren lanean deskribatzen da. 60 mg esmalte birrindu dira. Materia organikoa 24 orduz % 2,5 NaOCl soluzio batean kendu da, ondoren 0,125M NaOH 48 ordutan zehar. Materia organikorik gabeko hidroxiapatito birrindua 2 ml HF-tan disolbatzen da 24 orduz. Fosfato soluzioa eta CaF₂ konposiziodun hondakina zentrifugazioaren bidez

banatu dira, kristalezko 100ml-ko tubo eta neutralizatu egin da 2M KOH. Zilarrezko fosfatao (Ag_3PO_4) prezipitatu da 30 ml zilar amida soluzioa gehituz (0,2 M AgNO_3 ; 1,16 M NH_4NO_3 ; 0,75 M NH_4OH) 70 °C-tan 5-6 orduz, ondoren hozten utzi da. Zilar fosfato kristalak iragazi dira 0,2 μm tamainako mintzarekin eta hainbat aldiz garbitu dira ur distilatuarekin, eta lehortu 50 °C 1-2 ordutan. Ondoren, 0,3 mg Ag_3PO_4 0,5-1 mg AgCl -rekin eta 0,3 mg grafitoarekin nahastu da zilar kapsulan. Oxigeno isotopoen analisiak Parma Unibertsitateko Thermo Finnigan TC/EA akoplatutako Delta Plus XP espektrometroan egin dira. Konposizio isotopikoa δ moduan eta erlatiboki V-SMOW (*Vienna-Standard Mean Ocean Water*) eman da. V-SNOW eskala normalizazioa Nazioarteko Energia Atomikoaren Nazioarteko Agentziak emandako nazioarteko erreferentziatzko materialen lau erreplikatueta oinarritua dago (IAEA): IAEA-601, IAEA-602, IAEA-CH6, eta IAEA-SO-6. Determinazio bakarraren zehaztasun analitikoak \pm %0,4 baino hobea izan da.

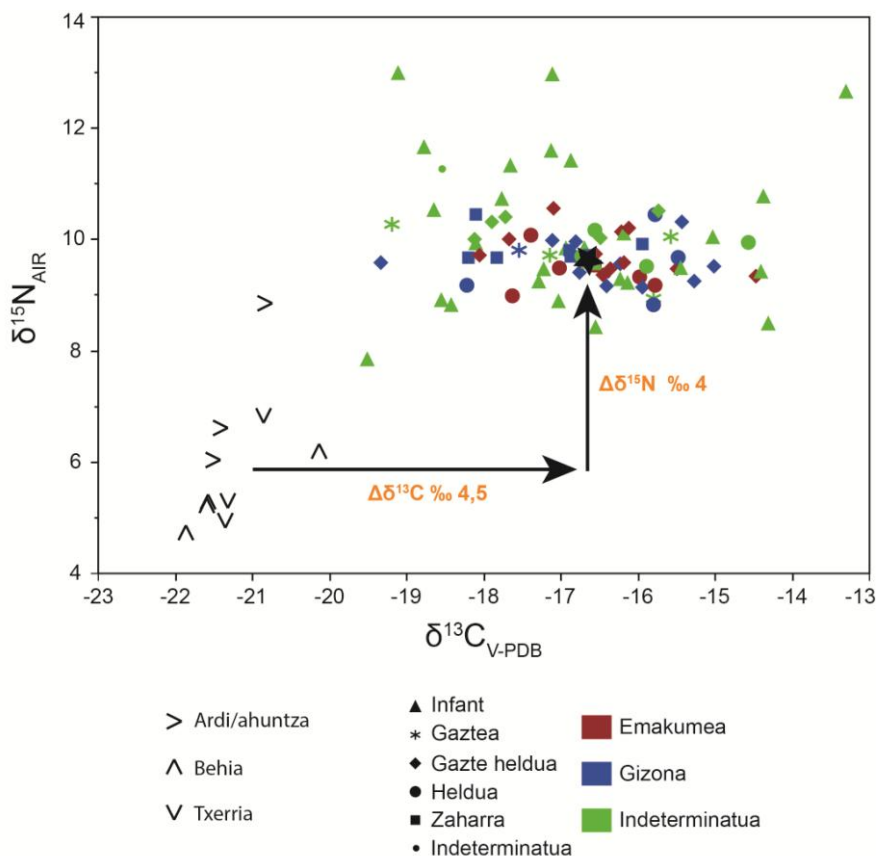
Gainera, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ kasuan bi teknika estadistiko erabili dira San Juan de Momoitioko biztanleriaren barnean egon litezkeen kanpotarrak identifikatzeko. Bi eskala neurketetan oinarritutako lagin arteko aldakuntzaren mugak zehaztu dira: batazbesteko \pm 2 desbiderapen estandarra (2SD) eta Tukek-en 1 interkuartil metodoa (IQR) 5xIQR eta 3xIQR kontsideratuz (Lightfoot eta O'Connell, 2016). Estatistiken parametroak erabili dira isotopoen banaketa deskribatzeko eta lagin taldeen arteko isotopoen balioak konparatzeko. Taldeen arteko desberdintasunak Student-t proba aplikatuz ikusi dira. Esangura estatistikoa $p < 0,05$ gisa onartu da. Analisi estatistikoa SPSS v.20-rekin egin da (Gizarte Zientzien estatistika-paketea).

Emaitzak

Karbono eta nitrogeno isotopoen erlazioak hezur kolagenoan

1. Taulan laburtzen dira San Juan de Momotio aztarnategiko (Bizkaia, Espainia) 93 gizabanakoen karbono eta nitrogeno isotopoen konposizioen balioak. SJG-71 lagina ezin izan da analizatu kolageno edukia urria duelako. Gizabanako gehienek ondo kontserbatutako kolagenoa dute C/N erlazioa 3,2 eta 3,6 bitartean baitute (Ambrose, 1990; DeNiro, 1985), 10 lagin soilik baztertu dira eztabaidarako (SJG-10, SJG-52, SJG-56, SJG-61, SJG-62, SJG-71, SJG-80, SJG-98 SJG-99, Ent.4 eta 210) C/N 3,6 baino balio altuagoak erakusten dituztelako. Horrela, guztira 82 gizabanako kontsideratu dira dietaren ikerketarako.

Nitrogeno eta karbonoaren konposizio isotopikoa ‰ $+9,7 \pm 0,9$ (1σ) eta ‰ $-16,7 \pm 1,3$ (1σ) dira, hurrenez hurren. $\delta^{15}\text{N}$ balioak ‰ $+7,9$ eta ‰ $+13,0$ bitartean daude, aldiz $\delta^{13}\text{C}$ balioak ‰ $-19,5$ eta ‰ $-13,3$ artean daude. Hezurreko isotopo egonkorren balioak 4. irudian daude eta banatuak agertzen dira sexu eta adinaren arabeko taldeetan. $\delta^{15}\text{N}$ eta $\delta^{13}\text{C}$ balioek ez dute sexu eta adinaren arabeko ezberdintasun estadistiko esanguratsurik erakusten. Umeei nitrogeno isotopoen balioetan dispersio nabaria erakusten dute, batezbestez $\delta^{15}\text{N}$ balioak ‰ $+10,1 \pm 1,4$ (1σ) eta ‰ $+7,9$ eta ‰ $+13,0$ bitarteko balioak. 1. taulan eta 4. irudian faunaren $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ datuak ere azaltzen dira. Fauna laginen $\delta^{15}\text{N}$ eta $\delta^{13}\text{C}$ ‰ $+4,7$ eta ‰ $+8,9$ eta ‰ $-21,9$ eta ‰ $-20,1$ artean daude, hurrenez hurren.

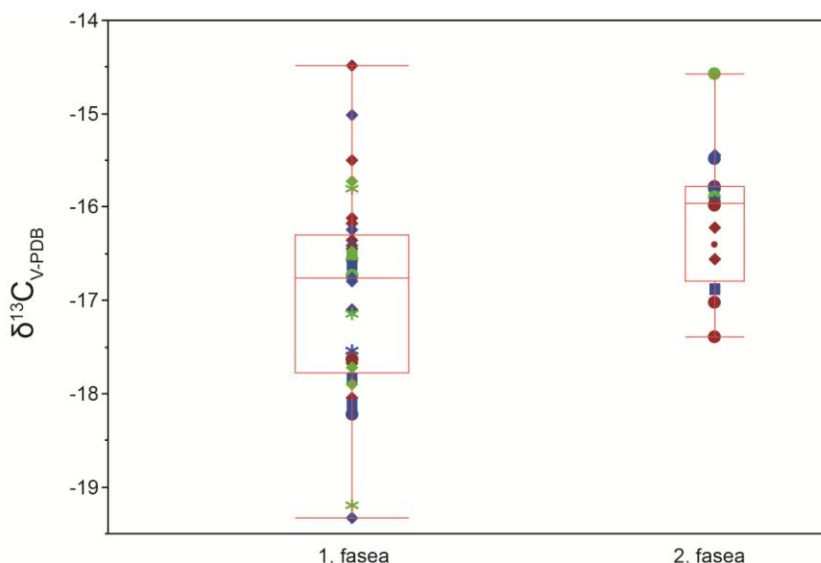


4. Irudia. San Juan de Momoitio aztarnategiko gizaki eta faunaren karbono eta nitrogeno isotopoen balioak. Izar ikurrak batesbestekoa adierazten du.

Denboran zeharreko ezberdintasunak zein hilobi motak gizarte mailarekin zerikusia duen ikusi ahal izateko estadistika analitiko umek baztertu dira.

Horrela, lehenengo okupazio fasea (IX. – XI. mendeak) alderatzean bigarren okupazio faseatik (XII. mendea, Goi Erdi Aroa), $\delta^{13}\text{C}$ balioetan soilik antzematen dira ezberdintasun estadistiko nabariak ($p=0,004$),

batezbesteko balioak $\% -17,0 \pm 1,1$ (1σ , $n=29$) eta $\% -16,1 \pm 0,7$ (1σ , $n=18$) dira, hurrenez hurren (5. Irudia).



5. Irudia. San Juan de Momotio aztarnategiko $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioak, aztarnategiko faseen arabera.

Lehenengo faseko hilerri eremuan (IX.-XI. mendeak, Behe Erdi Aroa), 3 eta 5. sektoreetako gizabanakoak ez dira kontuan hartu kasu gutxi direlako analisi estatistikoa egiteko. 1. sektore eta 2. sektoreen arteko gizabanakoak, $\delta^{13}\text{C}$ balioetan adierazgarriak diren ezberdintasun estatistikoak erakusten dituzte ($p=0,003$). Lehenengo sektoreko gizabanakoen $\delta^{13}\text{C}$ balioak $\% 15,8 \pm 0,9$ (1σ , $n=5$) eta bigarren sektorean $\% -17,1 \pm 1,1$ (1σ , $n=24$) dira.

Hilobi moten arteko ezberdintasunak antzemateko 2. eta 4. sektoreetan egin da soilik analisi estatistikoa. 2. sektoreko hilobi moten

arabera karbono eta nitrogeno konposizioak alderatzean, (A) eta (B) hilobien eta (C) hilobien artean $\delta^{13}\text{C}$ balioetan ezberdintasun estadistiko adierazgarriak daude ($p=0,002$ eta $p=0,004$, hurrenez hurren). $\delta^{13}\text{C}$ batazbesteko balioak hurrengoak dira: banakako zulo (A) ‰ $-16,8 \pm 0,8$ (1σ , $n=8$), partzialki mugatutako hilobia (B) ‰ $-17,1 \pm 0,9$ (1σ , $n=9$) eta harri-lerrokatutako hilobiak (C) ‰ $-18,6 \pm 0,8$ (1σ , $n=4$). Nahiz eta nitrogenoan ezberdintasun estadistikorik ez eman, $\delta^{15}\text{N}$ balio altuenak (C) motako hilobietan ematen dira. Batazbesteko balioak banakako zulo eta partzialki mugatutako hilobia ‰ $+9,7 \pm 0,4$ (1σ , $n=8$) eta ‰ $+9,8 \pm 0,5$ (1σ , $n=9$) dira, hurrenez hurren, alderatuta (C) hilobiarekin, non ‰ $+10,0 \pm 0,4$ (1σ , $n=4$) den.

4. sektorean banakako zulo eta partzialki mugatutako hilobia daude soilik, eta ezberdintasun estadistiko adierazgarriak bakarrik $\delta^{15}\text{N}$ ($p=0,002$) balioetan daude, batazbesteko balioak ‰ $9,4 \pm 0,4$ (1σ , $n=9$) eta ‰ $9,9 \pm 0,3$ (1σ , $n=9$) dira hurrenez hurren.

Estrontzio eta oxigeno erlazioak hortzeko esmaltean

Estrontzio isotopoen analisisen emaitzak 1. Taulan azaltzen dira eta lurzoru, ur eta fauna laginen balioak 2. Taulan. Hartz esmaltearen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopo erlazioak asko aldatzen dira, 0,708244 eta 0,710014 bitartean. Etxeabereak gizaki laginen antzeko isotopo konposizioak erakusten dituzte 0,70861 eta 0,7102 artean, ur balioak 0,708034 eta 0,70888 artean daude, aldiz sedimentuen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope erlazioak balio ez hain erradiogenikoak erakusten dituzte (0,70815-0,70816). Estrontzio isotopoak mugikortasun ikerketan erabiltzeko, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope erlazioa lokal determinatu behar da lehendabizi. Ur, fauna eta lurzoru laginak

erabili dira lekuko estrontzio konposizioa definitzeko. Momoitioko ur laginen estrontzio isotopoen erlazioak diskrepantzia handia erakusten dute. Uren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mineralen meteorizaziotik eratorria izaten da. Beraz, lekuko litologiak kontrolatzen zentsu handi batean uren estrontzio konposizio isotopikoa. Momoitio inguruko geologia komplexua da eta Goi Kretazeoko kareharri eta Eozenoko arrokez osatuta dago, Kretazeoko materialetan basaltozko dike bolkanikoak aurki daitezke (6. Irudia). Momoitioko urak $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ lurrazal geologikoki konplexuaren gaineko drainatzeak eragiten du. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70888$ balioko ur laginak materiala terrigenoen zeharreko drainatzea islatzen du, aldiz $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,708034$ ur laginak basalto dike bolkanikoen zeharreko drainatzea islatzen du, izan ere dike bolkanikoek 0,7038 eta 0,7054 arteko balioak izaten dituzte (Rossy et al., 1992). Lurzoruen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak Momoitio azpian dagoen litologiaren isla dira eta lekuko konposizioaren beheko muga definitzea ahalbidetzen du.

Nola eta ur eta lurzoruen estrontzio isotopoen konposizioa balioak inguruko litologiaren influentzia duten, arkeofauna erabiltzea lekuko estrontzio isotopoen konposizioa determinatzeko arrunta da (Price et al., 2002; Slovak eta Paytan, 2011). Fauna arkeologikoa gizakiak lez bizi diren inguruan elikatzen ziren (Bentley, 2006; Price et al., 2002), beraz lekuko konposizio isotopikoa islatuko dute. Hala ere, etxeaberean erabilpena lekuko konposizioa finkatzeko eztabaidagarri da gizakiak bezala mugikortasun patroein menpe daudela jakin izan denetik (Knudson et al., 2012; Shaw et al., 2009). Momoitioren kasuan, bi lagin izan ezik, arkeofauna lagin gehienak $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0,7092 balioak dituzte, eta balio hau lekuko konposizio isotopikoaren goi muga dela kontsideratu da. Beraz, lagin batek soilik $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7102$ balioarekin kontsideratu daiteke lokala ez den konposizioa duela.

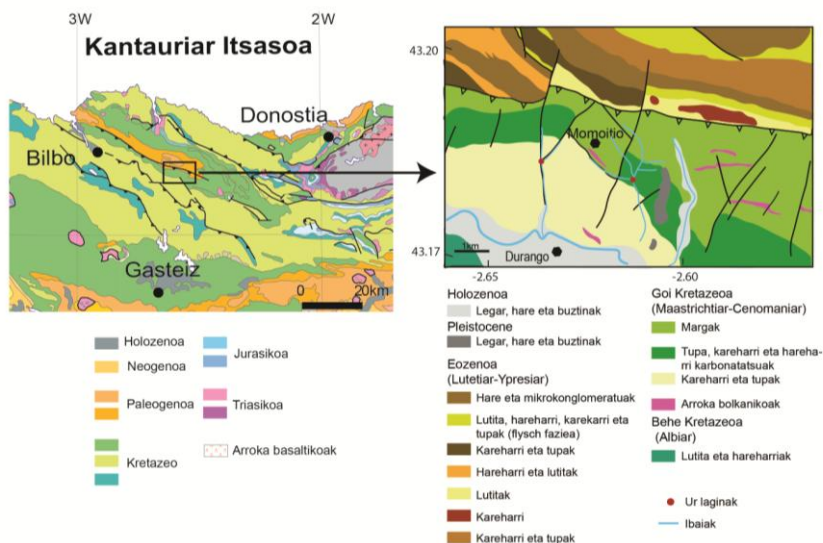
2. Taula. San Juan de Momoitio aztarnategiko fauna, ur eta lurzoruen estrontzio isotopoen emaitzak.

Laginak	Materiala	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE (%)
MS1	lurzoru	0,70816	0,00001
MS4	lurzoru	0,70815	0,00001
MA	ur	0,70888	0,00002
M2A	ur	0,708034	0,00002
S11178	Behi	0,70918	0,00002
S131149	Txerri	0,70916	0,00001
X1911100	Txerri	0,71020	0,00001
ZY21116	Behi	0,70861	0,00001
A131183	Ardi/ahuntza	0,709224	0,00002
S171170	Ardi/ahuntza	0,709160	0,00001

Ur, lurzoru eta arkeofauna erabili dira lokala den konposizioa determinatzeko, zein 0,7082 eta 0,7092 bitartean kokatzen den (7. Irudia). Momoitioiko geologiak determinatzen du estrontzio konposizio lokala.

Gizakien esmalteko fosfatoaren oxigeno erlazioak ($\delta^{18}\text{O}_p$) ‰ 16,0 eta ‰ 20,4 bitartean daude (tartea: ‰ Δ 4). Balio altuenak umeek dituzte eta baxuenak gizon helduek. Umeen (n=24) batzbesteko $\delta^{18}\text{O}_p$ balioak ‰ $18,8\pm 1,0$ (1 σ) dira eta helduenak (n=33) ‰ $18,2\pm 0,8$ (1 σ). I umeen (n=16) batzbesteko $\delta^{18}\text{O}_p$ balioak ‰ $19\pm 1,1$ (1 σ) dira eta, II umeen (n=8) balioak ‰ $18,6 \pm 0,8$ (1 σ). Nerabeen (n=4) batzbesteko $\delta^{18}\text{O}_p$ balioak ‰ $18,3\pm 0,4$ (1 σ) dira, gazteak (1 σ) ‰ $18,5\pm 0,7$, (n=16),

helduak (n=7) ‰ 18,0±0,5 (1σ) eta nagusiak (n=6) ‰ 17,8±1,1 (1σ). Hortz esmalteko fosfatoaren balioak umeetan ‰ 17,0 eta ‰ 20,4 bitartean daude.

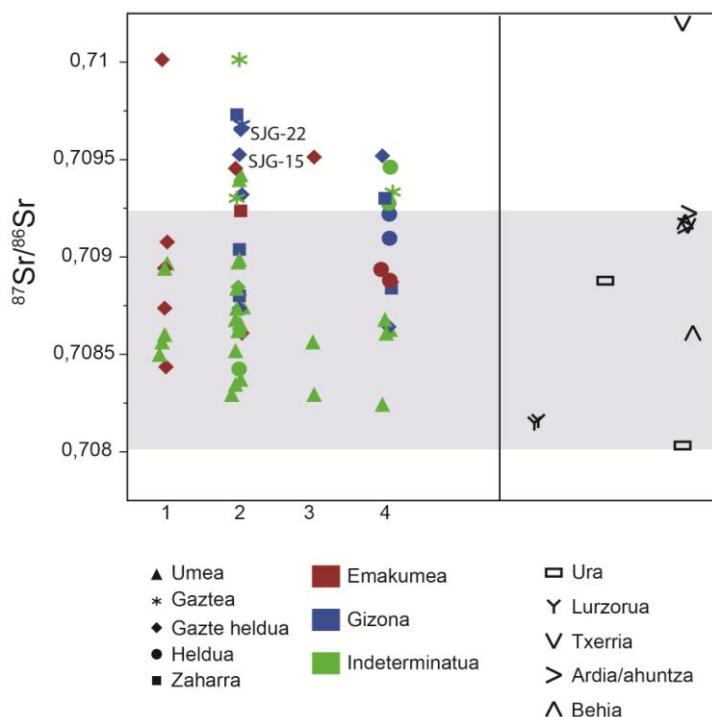


6. Irdia. San Juan de Momoitio aztarnategi eremuko mapa geologikoa eta analizatutako ur laginen kokapena (Rodríguez Fernández et al., 2015- tik moldatua;

<http://igme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=44df600f5c6241b59edb596f54388ae4>).

Momoitio biztanleriaren $\delta^{18}\text{O}_{\text{dw}}$ balioak fosfato/edandako ur ekuazioaren bidez kalkulatu dira (Daux et al., 2008; Iacumin eta Venturelli, 2015; Levinson eta Kolodny 1987; Luz et al., 1984; White et al., 1998) eta konparatu dira IAEA/WISER datu basearekin, zein lokalak diren uren ustezko balioak diren. Iacumin eta Venturelli (2015) ekuazioa erabili da edandako uren balio isotopikoa lortzeko lokala izango litzatekeen oxigeno isotopoen konposizioa finkatzeko, Santanderreko estazio

metereologikoa aukeratu da hurbileko estazioa delako eta Momoitioren latitude berean kokatzen delako, beraz prezipitazio, temperatura eta hezetasun antzekoak erakusten dituela uste da. Ur meteoriko lokalen $\delta^{18}\text{O}_{\text{dw}}$ Santanderreko estazio meteorologikoa kontuan hartuz ‰ -5,2 da (batzbesteko balioak 2000 eta 2010 bitartekoak dira) [<http://www.iaea.org/water>]. Kalkulatutako Momoitioko gizabanakoen $\delta^{18}\text{O}_{\text{dw}}$ ‰ -4,0 eta ‰ -10,0 $\pm 2,5$ artean dago. Kanpotarrak determinatzeko 1,5xIQR eta 2SD metodo estadistikoak erabili dira.



7. Irudia. Sektoreka banatuta gizakien esmaltearen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ konposizioa, etxeko abere (behi, txerri eta ardi/ahuntza) laginak, ur laginak eta lurzoru laginen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ konposizioa ere. Kolore grisa azaltzen duen eremua San Juan de Momoitio aztarnategiko konposizioa da, ur, lurzoru eta fauna definitua.

Eztaibada

Dieta ereduak

$\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioak dieta orojalea zutela erakusten dute, biak C3 landare (garia eta barazkiak adibidez) eta C4 landareekin (artatzikia kasu), eta animalietatik eratorritako proteinak ere jaten zituzten. Gizon helduen balioak (n=4) (batazbestez $\delta^{13}\text{C} = \text{‰} -16,7 \pm 1,1$, batazbestez $\delta^{15}\text{N} = \text{‰} 9,7 \pm 0,4$) eta emakumeenak (n=5) (batazbestez $\delta^{13}\text{C} = \text{‰} -16,5 \pm 0,9$, batazbestez $\delta^{15}\text{N} = \text{‰} 9,6 \pm 0,5$) beste Kristau eta Islamatar komunitateetan ez bezala, ez dute sexuen araberako dieta ezberdintasunik erakusten (Alexander et al., 2015; Quiros-Castillo, 2013).

Faunaren balioekin alderatuz, helduen $\delta^{15}\text{N}$ balioen aldakortasuna ($\Delta\delta^{15}\text{N} = \text{‰} 4$), maila trofiko bateko aberastea erakusten du (Drucker eta Bocherens, 2004; Schoeninger eta Moore, 1992). Hala ere, ez dute gizabanako guztiek $\delta^{15}\text{N}$ -an maila trofiko bateko aberastasuna erakusten. Umeek $\delta^{15}\text{N}$ balio altuenak erakusten dituzte emakumeekin alderatuz, zein edoskitzearekin lotzen den (Fuller et al., 2005; Richards et al., 2002). Nitrogeno isotopoaren aberastasuna edoskitze eta titi kentzea determinatzeko gain umeen hilkortasuna ikertzeko ere erabili daiteke (Katzenberg et al., 1996; Pearson et al., 2010; Schurr, 1997; Williams et al., 2005). $\delta^{15}\text{N}$ ‰ 10,7 baino balio altuagoak umeetan edoskitzea erakusten dute eta bi-hiru urteko baino gazteagoak izango ziren umeak izango ziren, beraz ‰ 8,4 baino balio baxuagoak bularra kendu osteko umeak izango ziren eta 7 urte baino gehiago izango zuten (Ume II). Ume gehienak helduen batezbestekoarekin alderatuz $\delta^{15}\text{N}$ balio antzekoak dituzte, dieta antzekoa zutela adieraziz. Momoiitioko hilerriko umeen kopuru altuak,

ikertutako gizabanakoen % 35 -a, umeen hilkortasun handiaren isla da. Umeen hilkortasunaren zergatiak zehaztea eskeletoaren azterketa bidez zaila da, izan ere gaixotasun batzuk ez dute aztarnarik uzten eskeletoan. Ikerketa batzuek titia kentzea eta haurren biziraupenaren artean erlazio dagoela antzeman dute (Katzenberg et al., 1996; Katzenberg eta Lovell, 1999; Mays et al., 2002; Pearson et al., 2010). Momoitioko umeen artean, erdiak baino gehiagok erakusten dute $\delta^{15}\text{N}$ -an emakume gazteen antzeko balioak. Elikagai solidoen sarrera, seguruenik landareak, zein esne faltak, gaixotasun eta estres nutrizionala ekarriko zuen defizientzia nutrizionala sortuz. Beraz, titi kentze praktikak Momoitioko umeen (bi eta zazpi urteen artean) hilkortasunaren erantzule izango ziren.

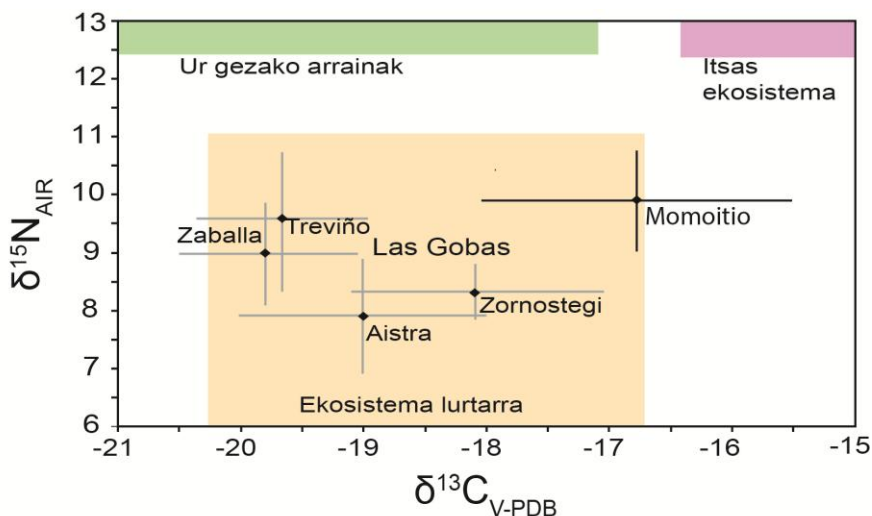
Nitrogeno isotopoen balioak ez bezala, karbono balioek $\Delta\delta^{13}\text{C} = \text{‰} 4,5$ -ko offseta erakusten dute, ezohikoa den balioa, belarjaleekin alderatura $\text{‰} 2$ baino gehiagokoa baita. Honek erakusten du animalia eta gizakiek dieta ezberdina zutela. Gizakiek C4 landareak ere jaten zituzten, $\delta^{13}\text{C}$ balioak $\text{‰} -18$ baino altuagoak baitira. Momoitioko ebidentzia arkeobotanikoak artatxikia bezalako C4 landareak landatzen zirela erakutsi dute (Le Huray eta Schutkowski, 2005; Le Huray et al. 2006). Itsasoko jatorria duen elikagaien kontsumoaren arrastoak ere badaude, Ostrea espezieko maskorra aurkitu zen indusketak egin zirenean (Castaños, 1992). Ez da harritzekoa itsasoko elikagaien arrastoak aurkitzea Momoition, izan ere Bizkaiko Golkoko kostaldetik 40 km-tara dago soilik.

Historikoki, Erdi Aroko hilerretan egindako ikerketek erakutsi dute hilobiratze mota ugari eta hilobietan aldaketak denboran zehar. Hilobien tipologiak baliteke gizarte estratifikazioaren isla izatea edo familien tradizioa eta erlijio sinesmengatik izatea (Vauchez, 1985).

Momoitioko gizabanakoek hilobien araberrako ezberdintasunak erakusten dituzte. 2. sektoreko partzialki mugatutako hilobiak (B) $\delta^{13}\text{C}$ balio baxuagoak erakusten dituzte beste hilobi motekin alderatuta. $\delta^{13}\text{C}$ balio baxuagoak artatxikiaren kontsumoa urriagoa izan zela erakusten du. Erdi Aroko gizartean artatxikia (C4) maiz lotu izan da estatus maila baxuko elikagaiekin, batez ere nekazari herrietan (Adamson, 2002; Braudel, 1972; Glick, 1982; Quiros Castillo, 2013; Sarasa, 1995).

Nahiz eta ez izan posible lurperatze guztien data ezagutzea datazio erradiokarbonikoen bidez, hilobiratze estaien distribuzio kronologikoa (Goi Erdi Aroa eta Behe Erdi Aroa bitartean) kontutan hartu da denboran zehar dietan eman ahal izan ziren aldaketak antzemateko. Lehen faseko hilobiratzeetako gizabanakoetan, 1., 2. eta 3. sektoreak (Behe Erdi aroka), $\delta^{13}\text{C}$ balioetan dispersio handia ikus daiteke (%o -14,5 eta %o -19,3 artean), aldiz azken estaiko gizakien (4. sektorea, Goi Erdi Aroa), $\delta^{13}\text{C}$ balioak %o -14,6 eta %o -17,4 bitartean daude (5. Irudia). Hala ere, lehenengo hilobiratze estaiaren barne (IX-XI. mendeak), 1. sektore eta 2. sektorearen artean dieta ezberdintasunak ikus daitezke. Lehenengo sektoreko gizabanakoen $\delta^{13}\text{C}$ balioak aberastuagoak daude (batazbestez %o -15,8 \pm 0,9) alderatuz bigarren sektorekoekin (batazbestez %o -17,1 \pm 1,1) denboran zeharreko dieta aldaketak eman zirela erakutsiz. Honek lehenengo sektorean artatxikiaren kontsumoa baxua den dieta zutela erakusten du bigarren sektorearekin alderatuta, beraz baliteke elikagai bariatate altuagoa izatea. Dieta aldaketa ere ikus daiteke 2. (Behe Erdi Aroa) eta 4. (Goi Erdi Aroa) sektoreen artean, artatxikiaren kontsumoaren handitzearekin. Aldaketa hau laboreen ezpezializaioarekin lotu daiteke. Datazio gutxi izateak ez du ahalbidetzen aldaketa hauek kronologikoki determinatzea.

Garaikideak diren beste Ipar Iberiar Penintsulako Erdi Aroko gizarte batzuk kontsideratu dira Momoitioko aztarnategiko dietarekin alderatzeko (Treviño, Zaballa, Aistra eta Zornostegi biztanleriak; Quiros, 2015) (8. Irudia). Ikusi da batezbesteko isotopo balio lokalak eskualdeko ingurugiro baldintza ezberdinen ondorioa direla. Kasu guztietan, $\delta^{15}\text{N}$ balioak maila trofikoaren aberastearekin azaldu daitezke. Hala ere, Momoitioko gizabanakoak karbono isotopoen balio handiagoak (batezbestez $-16,8 \pm 1,3\%$) dituzte beste aztarnategietako balioekin konparatuz. Ezberdintasun hau artatxikiaren kontsumo handiagoarekin azaldu daiteke.



8. Irudia. San Juan de Momoitio eta garaikideak diren Euskal Herriko beste aztarnategietako (Aistra, Zornostegi, Zaballa, Treviño) (Quiros Castillo, 2013) $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioak (batezbestekoa eta desbiderapen estandarra). Ekosistemen kutzak Ambrose (1990) eta Müldner eta Richards (2007) lanetan emandako fauna datuetatik lortu dira.

Mugikortasuna: $\delta^{18}\text{O}$ eta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Definitutako lekuko estrontzio konposizioaren arabera, Momoitioko biztanleriaren barnean bi talde bereiztu daitezke: lehenak $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balio lokalak dituzten gizabanakoz osatuta dago (gehiengoa), eta bigarren taldea konposizio kanpotarra erakusten duten gizabanakoz, batez ere gaztez, osatzen da. Bi ume izan ezik, ume gehienak lokala den konposizioa erakusten dute eta gizabanako helduena baino $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balio baxuagoak dituzte. Nahiz eta diagenesi prosezuek eta ingurugiroko baldintzak esmalteari gutxiago eragin, (Khon eta Cerling, 2002; Trueman eta Tuross, 2002), umeen hortzak errazago aldatzen dira. Izan ere, elementu arraro, U eta Th kontzentrazioak, umeen esne hortzetan, diagenesiaren adierazle dira (Guede et al., 2017).

Oxigeno konposizio isotopikoak bizileku mugikortasunak bereiztea ahalbidetzen du ere. Umeen $\delta^{18}\text{O}_p$ balioak helduenak baino altuagoak dira eta estadistikoki ezberdintasun hau adierazgarria da (t-test, $p < 0.01$). Esne hortzak uteroan mineralizatzen dira eta edoskitze estaian zehar eratzten dira, beraz erakusten duten balioa esnearen balio isotopikoa da, horrela uraren konposizioarekin alderatuz aberastua agertzen da ^{18}O . Beraz laginen $\delta^{18}\text{O}_p$ aldakuntza aztertzeke umeak baztertu egin dira.

Gizabanako helduak $\delta^{18}\text{O}_p$ balioek bariazio handia erakusten dute, Momoitioko biztanleria baldintza klimatiko ezberdineko erregistroa izango litzatekeelarik. Soilik batzuek erakusten dute $\delta^{18}\text{O}_p$ lokala ez den konposizioa (9. Irudia). Oxigeno isotopoa ikus daitezkeen bariazioak denboran zeharreko klima aldaketekin eta Momoitioko paisaiarekin lotura izan dezakete. Izan ere, azken hiru mendeetan Momoitioko egonaldia Erdi Aroko Estai Beroarekin (MWP) bat dator eta honi jarraituz

estai hotzagoa (Diaz eta Hughes, 1994; Grove eta Switsur, 1994; Hunt, 2006). Gainera, Momotioko nekazari egitura ingurugiroaren ezaugarri topografikoez baldintzatua dago, haran eta muino estuek osatzen dute eta paisaia desagregatua baserri txikiak eta sakabanatuak ditu. 2. sektorea, lehenengo fasearen adierazle, eta 4. sektorea azken estaiaren adierazle, $\delta^{18}\text{O}_p$ balioek aldaerak erakusten dituzte, $\delta^{18}\text{O}_p$ balioak erakutsi beroagoak izango ziren baldintza klimatikoak lehen faserako, bat etorritz MWP -arekin, eta aldiz hotzagoak 4. fasean.

2. sektoreko kanpotar batek (SJG-22) helduen balioak baino $\delta^{18}\text{O}_p$ balio altuagoa erakusten du, kostaldean kokatuz bere jatorri eskualdea. Hiru kanpotarrek $\delta^{18}\text{O}_p$ balio baxuagoak erakusten dituzte beroagoa den eskualdea edo altitude altuagoan zutela jatorri eskualdea adirazten digu (9. Irudia).

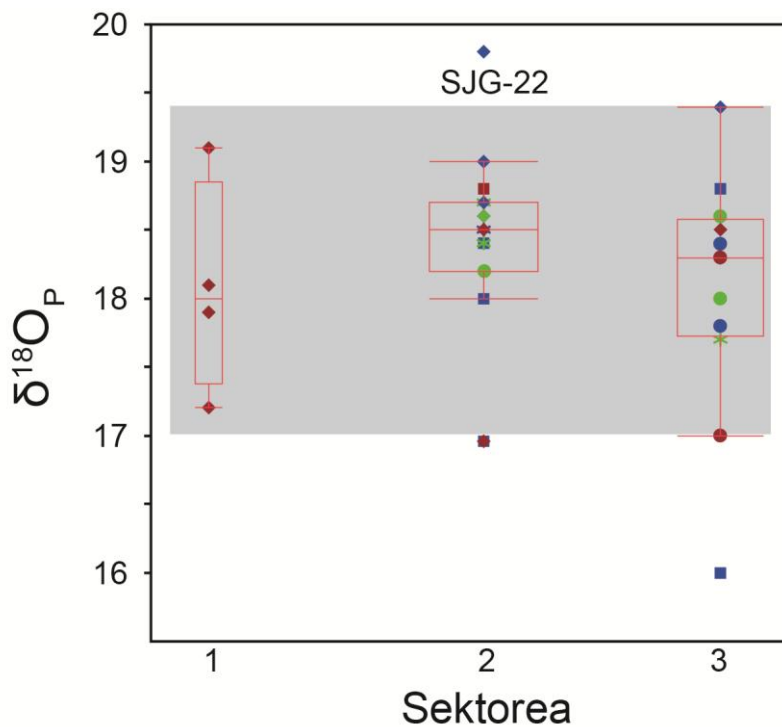
Haei dagokienez, $\delta^{18}\text{O}_p$ balioak hurren aldakuntza handiak aipatu behar dira. Haurrak $\delta^{18}\text{O}_p$ balioak barruti lokaleko estimazioaren barruan daudenean tokiko jatorria dutela kontsideratzen da. Hala ere, tokiko jatorriko barrutitik kanpo dauden hurren kasuan, helduen kopuruarekin ez datoz bat, beraz zaila da kontsideratzea haur guzti hauek lekukoak ez izatea.

Oxigeno isotopoak antzinako gizaki biztanlerien mugikortasun ikerketak egiteaz gain edoskitze eta esne-kentzea ere ikertzeko erabili daitezke (Wright eta Schwarcz 1998, 1999; Britton et al., 2015). Ikerketa hauek bularreko esnean oinarria dute, frakzio isotopikoa dela eta, isotopikoki aberastu egiten da amak izango duen konposizioarekiko (Bryant eta Froelich 1995; Kohn et al. 1996; Wright eta Schwarcz 1998; Lin et al. 2003). Horrela, Momoitioko hurren $\delta^{18}\text{O}_p$ balio altuak edoskitze efektua islatu dezakete (Wright eta Schwarcz, 1998, 1999), non lokala

baino $\delta^{18}\text{O}_p$ balio baxuek esne-kentzea praktikei lotu daitekeen. $\delta^{18}\text{O}_p$ lokalak diren balio eta pixkat baxuagoak diren balioak neonatoekin lotu daitezke.

Hala eta guztiz ere, alternatiba hau azaltzeko kontu handiz hartu beharko litzateke, osasun gaixotasunarekin zerikusia duten ezberdintasun, urte arteko aldakortasun klimatiko zabala eta jaiotza-denboraldia izan liteke haurrentzako oxigeno isotopoen balioen erantzule.

$\delta^{18}\text{O}_p$ eta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak alderatzean, Momoitioren biztanleriaren erdiak inguru dute kanpotar jatorria, bi ume barne. Gizabanako kanpotarren artean, erdiak bizitzako lehen estaietan mugitu ziren. Hala ere gizabanako kanpotar guztiak ez datoz eskualde geologiko edo geografiko berarekin. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioen arabera kanpotarrak diren gizabanakoak lekukoa den $\delta^{18}\text{O}_p$ balioak erakusten dituzte, beraz baldintza klimatiko berdineko, baina geologiko ezberdineko eskualdeetan dutela jatorria adierazten du. Ipar Iberiar Penintsulako kostalde osoan zehar eta Frantzia hego-mendebaldeko kostaldean (Akitania eskualdea) Momoitio eremuko baldintza klimatiko beretsuak erakusten dituzte. Beraz, zaila da determinatzea kanpotar gizabanakoek non zuten jatorria eskualdea. $\delta^{18}\text{O}_p$ balio lokalak baino baxuagoak dituzten gizabanakoak baina, estrontzio konposizio lokala azaltzen dutenak, eskualde geologiko antzekotik eratorriak dira, aldiz Momoitio baino altitude altuagoan bizi ziren. Eskualdeko ezaugarri geografikoak kontuan hartuz hurbileko mendietan zutela jatorria iradoki dezakegu.



9. Irudia. Sektoreen araberako gizaki esmaltearen $\delta^{18}O$ balioak. Kolore grisa azaltzen duen eremuak gizabanako lokalak definitzen ditu, hauek baino $\delta^{18}O$ balio baxuagoak dituztenak hotzagoa edo latitude altuagoan dute jatorri eskualdea eta SJG-22 gizakia izan ezik, zein beroagoa edo kostaldeko eskualde batetik datorren.

IV. Kapitulum:

Tauste aztarnategia

“Isotope analisisien bidezko Erdi Aroko Tauste (Espainiako Ipar ekialdea) herriko biztanleriaren dieta eta mugikortasunaren azterketa”

PlosOne 2017, 12(5): e0176572. [https://doi.org/](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176572)

10.1371/journal.pone.0176572

Laburpena

Tauste (Zaragoza, Espainia) herrian aurkitutako nekropolia VIII. eta X. mendeetan zehar Islamiar komunitate baten presentziaren seinale bakarra dugu. Erreinu ezberdinen mugan bizi zen Erdi Aroko Islamiar biztanleria honen mugikortasuna eta dieta ikertzeko isotopo ezberdinak erabili dira. Hogeita hamaika gizabanakoetan $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ eta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ikertu dira. Estrontzio eta oxigeno isotopoen konbinaketak gizabanako gehienak lekukoak direla ikusiarazi du, halaere hiru emakume eta bi gizonezko ez dira bertakoak. Bertakoak ez diren gizonezkoak beroagoa den eskualde batetik etorri ahal zitezkeen, aldiz bi emakumezkoak geografikoki menditsuagoa den eremu batetik eta hirugarrena geologikoki ezberdina den eskualde batekoa izango litzateke. Tauste herriko eremuak $\delta^{15}\text{N}$ balioa oso altua erakusten du, zeina arroka amaren konposizioa ondorioz izan daitekeen (igeltsu eta gatzak). $\delta^{15}\text{N}$ -an gizabanakoek erakusten dituzten balio altuak loturik egon daitezke ongarrien erabilpenarekin zein arrainak jatearekin. Erdi Aroko Islamiarren gizartean gizon nagusiak ziren gizartean pribilegio gehien zutenak, eta isotopoen datuek islatzen duten lez, emakume eta gazteek baino animalietatik eratorritako protein gehiago jaten zuten.

Sarrera

Islamiarrek Iberiar Peninsula ia osorik inbaditu zuten Goi Erdi Aroan (K.o. 711) eta zazpi mendetan zehar mantendu ziren, zehazki, 1492 urte arte, non Kristau Erresumak birkonkistatu zituen. Islamiarrek konkistatutako eskualdearen iparraldeko muga, Al-andalus bezala ezagutzen dena, hedatu zen Kantauriar mendilerroaren hegoalderantza, gaur egungo Galizia eta Katalunia, alegia. Konkista islamiarraren ondoren, al-Andalus lehenik (711-750), Damaskon zentrua zuen Umayyad kalifatoaren probintzia izan zen. 740. urtean gerra zibilak izan ziren Islamiar taldeen artean, honek Arabiar Inperioaren jaitsiera ekarri zuen eta Kordobako Emiratoa sortu zen (750-929). 929. urtean Kordobak kalifatoa aldarrikatu zuen bere burua eta Kordobako kalifatoaren aldia hasi zen (929-1031). Kordobako kalifatoa gerra zibilan zehar erori egin zen eta Al-Andalus independenteak ziren Taifa Erresumak deritzen ziren estatuetan banatu ziren. Taifak ahulak ziren Kristau Erresumen aurrean, ondorioz, errekonkista eman zen. Kristauen errekonkista amaitutzat eman zen 1492. urtean, Granadako emiratua hartu zutenean. 711 eta 1492. urteen artean, politika eskualdeak aldatzen zihoazen bezala, iparreko Kristau eta hegoaldeko islamiarren mugak etengabe mugitzen ziren. Ebroko bailaran, Islamiarrak lehenengoz VIII. mendearen hasieran iritsi ziren, herri gehienak konkistatuz inolako erresistentziarik gabe eta Goiko Muga finkatu zuten (iparraldeko muga) Ebro arroan zehar. Horrela hasi zen Islamiar aldia Ebro bailaran, lau mendeetan zehar, Saragossa zuelarik hiriburu. Islamiarren konkistaren ondoren, Cassius Kondea Islamatarra izatera pasa zen, horrela bere lurak mantentzen zituen eta Banu Qasi dinastia sortu zuen. IX. mendean kordoba kalifatoaren barnean Banu Qasi dinastiaren agintepean egon zen (García de Cortazar eta Sesma, 2011; Hitchcock, 2011). IX. mendean zehar Banu Qasi leinua

Kordoba emiratoaren aurka jaso zen. Mendearen bigarren partean, Banu Qasiren domeinuak asko hasi ziren, Pirineoetara iparretik eta ekialdetik Mediterraneo kostaldera iritsiz. Hala ere, IX. mendearen amaieran Kordoba emirrak berreskuratu zituen eskualde gehienak eta X. mendearen hasieran inguruko Kristauen eraso eta Kordobaren laguntzarik gabe Banu Qasi dinastiak zituen lur guztiak galdu zituen (Cañada Juste, 1980).

Al-Andalus gizartea nagusiki hiru erlijio taldez osatua zegoen: kristauak, musulmanak eta juduak, zeintzuk hirien auzo ezberdinetan bizi ziren. Gizarte islamiarra estratifikatua zegoen batez ere etnizitatearen arabera. Senidetasun sistema garrantzia zuen, ezkontza endogamikoak izanik erlazio sistema idealak (Coope, 2014). Tribua indartsuagoa zen emakume gehiago erakartzen zuen heinean eta endogamikoagoa bihurtu zitekeen. Islamatar arauen azpian pribilegio gehien zutenak gizonak ziren eta emakumeak bigarren mailako hiritar gisa tratatzen ziren (Coope, 2014). Bereziki, emakumeen eskubideak kontingenteak ziren gizartearen barruan mailaren arabera (erlijioa, maila ekonomiko eta ezkontza maila). Lege islamikoaren azpian, gizarteko beste talde, hala nola juduak eta kristauak bezala eskubide eta pribilegio gutxiago zituzten, aldakorrak izanik mailaren arabera. Esparru honetan dugu Tauste, bi hiri garrantzitsuenen artean kokatuta: Saragossa, Goi Mugako metropolia, eta Tudela, Banu Qasi eskualdeko hiriburua. Islamiarren presentzia Tausten (Zaragoza, Espainia) kontsideratua izan zen ustekabekoa eta ez zela eman ere uste izan da, tradizioak zein idatzizko iturriek esaten zuten bezala. Hala ere, duela gutxiko indusketek Islamiar biztanleria egonkor bat izan zela bertan iradokitzen dute. 2010. urtean, Mekara perpendikularrean orientatuak agertzen ziren hainbat gizaki eskeleto aurkitu ziren. Gorpuak eskumara jarriak zeuden, Mekara begira, Islamiar

hilerrien ezaugarri dena (Petersen, 2013). Aldiz, islamiar herriaren arrastorik ez da aurkitu. Isotopo ezberdinak erabili dira, besteak beste estrontzio, oxigeno, karbono eta nitrogeno isotopo egonkorak, Iberiar Penintsula islamiar garaian Tausteko gizabanakoen jatorri geografikoa, mugikortasun eta dieta ereduak ezagutzeko. Hezurren kolagenoan neurtutako isotopo egonkorren konposizioak informazioa ematen digu elikadura, bizitzaren historia eta iraganeko biztanleriaren mugikortasunari buruz (Ambrose, 1993; DeNiro eta Epstein, 1978; Hedges eta Reynard, 2007; Katzenberd, 2008; Lee-Thorp, 2008).

Isotopo analisiak bioarkeologian

Hezurretako kolagenoan nitrogeno eta karbono isotopen konposizioaren analisiak paleodieta ezagutzea ahalbidetzen du. Honek, hil aurreko azken 10 urtetan jandako proteina zenbateko eta jatorriaren inguruko informazioa ematen digu (Schwarcz eta Schoeninger, 1991; Meier-Augenstein, 2010).

Karbono isotopoen analisiak elikagaiak zein ekosisteman duten jatorria ematen digu, lehorreko edo itsasoko ekosistematik datozen bereiztu daitekeelarik. Lehorreko dietaren kasuan, zein landare mota jan den esaten digu. Bi landare mota bereiztu daitezke egiten duten fotosintesiaren arabera: C3 eta C4 landareak. Landare gehienak C3 motatakoak dira, garia (Tritium) eta garagarra (*Hordeum vulgare*), C4 landareak aldiz artatxikia (*Pennisetum*), artoa (*Zeamays*) eta azukre kaña (*Saccharumofficinarum*) dira besteak beste. C4 landareek karbono balio aberatsagoak erakusten dituzte C3 landareekin alderatuz, horrela $\delta^{13}\text{C}$ batazbesteko balioak ‰ 13 eta ‰ -27 dira, hurrenez hurren (Smith eta Epstein, 1971; O`Leary, 1981). Itsas landare guztiak C3 motatakoak dira

eta batesteko balioa lehorreko $\% 7,5$ altuagoa erakusten dute. Karbono isotopoen konposizioa proteinen jatorria itsastarra edo lehorrekoa den bereizteko erabilia da, baina C4 landareak ere jaten baldin badira, balioak gainjarri daitezke (Hoefs, 1981; White, 2015). $\delta^{13}\text{C}$ an karbonoa frakzionatu egiten da $\% 1$ elikakatean zehar (Ambrose, 1993; DeNiro eta Epstein, 1978; Malaney, 2011). Ur gezako ekosistemetan landareen $\delta^{13}\text{C}$ konposizioa aldakorra da eta horren ondorioz, arrainek $\delta^{13}\text{C}$ balio tarte handia erakusten dute neurri handi batean txirotua (Dufour et al., 1999; Pazdur et al., 1999). Beraz, $\delta^{13}\text{C}$ erlazioak $\% -22$ baino negatiboagoak direnean, C3 lurreko landareak soilik oinarritutako dieta baten gaudela baino ur gezako arrainak kontsumoa eman dela iradokitzen du.

Nitrogeno isotopoen balioek animalia proteina kontsumoa islatzen dute eta gizakiaren zein maila trofikan dagoen esaten du (Lee-Thorp, 2008; Sandford, 1993; Bocherens eta Drucker, 2003). Horrela, elikakatean gorantz goazen heinean, nitrogeno isotopoak lehorreko ekosistema batean aberastuak daude $\% 2-5$ (batezbestez, 3%), (Hedges eta Reynard, 2007; Schoeninger eta Moore, 1992; Schoeninger et al., 1983). Lehorreko jatorria duten proteinen $\delta^{15}\text{N}$ balioa $\% 5-\% 12$ tartean daude urtarra deneko kasuan, $\% 12-\% 22$ itsasoa denean jatorri eta $\% 7,2-\% 16,7$ ur gezako arraina denean (Schoeninger eta DeNiro, 1984; Walker eta DeNiro, 1986; Katzenberg eta Weber, 1999; Fuller et al., 2012; Robson et al., 2015). C3 landareak jaten direnean, nitrogeno isotopo analisiak konbinatzen dira karbono isotopoarekin bereizi ahal izateko proteinen jatorria lehorrekoa, ur gezako edo itsaokoa den. Landare eta animalien $\delta^{15}\text{N}$ erlazioen aldakortasunaren beste arrazoi batzuk daude, ingurugiroko baldintzak esaterako, gazitasuna eta lehortasuna edo faktore antropogenikoak, ongarriak kasu (Bogaard et al., 2007; Fraser et al., 2011). Oro har, giza dieta elikagai nahasketa bat da

isotopo sinadura ezberdinekin. Kolagenoko $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioen grafikoak interpretatu daitezke hainbat osagairen nahasketa bidez, ez dutelarik izango ebazpen bakarra baina ikertutako gizakietan osagai garrantzitsuak mugatu daitezke (Schwarcz eta Schoeninger 1991; Phillips eta Gregg, 2003) Gainera, nitrogeno isotopo egonkorak amagandiko edoskitzea eta titia kentzea noiz eman zen ikertu daiteke. Izan ere, amagandiko edoskitzean zehar umeen $\delta^{15}\text{N}$ balioak aberasten dira ‰ 2–3 amarenarekin konparatuz (Fogel et al., 1989).

Estrontzio eta oxigeno isotopoak bi sistema isotopiko independenteak dira, estrontzioak geologia lokala islatzen du eta aldiz oxigenoak geografia, horrela iraganeko biztanleriaren mugikortasuna berreraiki daiteke. Bi sistema isotopiko horiek konbinatuz posible da eremu geografikoak mugatzea eta pertsona baten jatorri eskualdearen buruzko informazioa lortzea, horrela, mugikortasun ereduak zehaztu daitezkeelarik (Bentley eta Knipper, 2005; Evans et al., 2006a; Evans et al., 2006b).

Oxigeno eta estrontzioa hortz eta hezurren fosfatoan eransten dira edandako ura eta jaten diren elikagaien bidez. Estrontzio isotopoak fosfato biogenikoko kaltzioa ordezkapenagatik azaltzen dira (Hillson, 1996; Price et al., 2002; Hoppe et al., 2003).Hautzaroan zehar eratzen diren hortzen esmalteak ez du gerora konposizioan beste elementurik sartzen, horrela hautzaroan zehar bizi izandako eskualdeko konposizioa islatzen duelarik, kontuan hartuz gutxienez jandako elikagaien gehiengoa bizi izandako eskualde berekoak direla (Hillson, 1996, Hillson, 1986). Halaere, eredu hauek ez dira primeran aurreikusten, izan ere hautzaroan zehar elikagaiak aldatu egin daitezke eta estrontzio erlazioak jatorri ezberdineko elikagaien konposizio geologikoa sintetizatzen du

batezbestekoa emanik. Lortutako batezbestekoak erabiltzen dira iragartzeko lotura geografia posibleena ehun eta kokapenaren artean. Aldiz, hezurak gizakiaren bizitzan zehar aldatzen dute beraien konposizioa.

Estrontzio isotopo erradiogenikoak lotura dute geologiarekin eta aldakorra da arroka amaren konposizio eta adinarekin. Estrontzio kontzentrazioa aldakorra da organismoetan eta elikakatean zehar baina gizaki eta faunaren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopo seinalea arbuigarria den frakzionazio metabolikoa du, islatuz arroka amaren konposizio isotopikoa (Hoppe et al., 2003; Burton, 1996; Hoppe et al., 1999; Blum et al., 2000; Balter et al., 2001; Balter, 2004; Faure eta Mensing, 2005; Hoppe eta Koch et al., 2007). Arroka, lurzoru, ur eta landareetako $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlazioak gizaki eta animalien konposizioa islatuko du, beti ere kontsumitutako elikagai eta urak jatorri hori baldin badute (Bocherens eta Drucker, 2003; Price et al., 2002; Bentley, 2006). $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ isotopo erlazioak ingurutik heredatu duenez, beharrezkoa da tokiko estrontzio isotopo sinadura definitzea norbanakoen mugikortasun egoitza-ebaluatzeke. Badira hainbat metodo tokiko isotopo sinadura ezartzeko urak, lurzoru lixibiatuak, egungo eta antzinako animaliak basati txikien laginak analisatuz (Bocherens eta Drucker, 2003; Price et al., 2002; Bentley, 2006). Hala ere aktibitate antropogenikoak, ongarrien erabilera kasu, ekosistema modernoek estrontzio isotopoen erlazioak aldatu ditzake (Böhlke eta Horan, 2000; West et al., 2009; Tichomirowa et al., 2010; Christian et al., 2011).

Aldiz, oxigeno isotopoak edandako uren, zeinak euri uretik eratorriak diren, konposizio isotopikoa islatzen du. $\delta^{18}\text{O}$ balioak aldatu egiten da eskualdeka, tenperatura eta bestenolako parametro

klimatikoen ondorioz, kostaldearekiko distantzia, latitudea eta altitudea emanez (Longinelli, 1984; White et al., 1998; Darling et al., 2006; Daux et al., 2008). Oxigeno isotopoak gorputzean ematen diren frakzionazio metabolikoen menpe daude. Frakzionazio mekanismoak erlatiboki ondo ezagunak dira, honek fosfato biogenikoko $\delta^{18}\text{O}_p$ -tik abiatuta eta bihurtze ekuazio bidez edandako uren konposizio ($\delta^{18}\text{O}_w$) balioen hurbilketa bat egitea ahalbidetzen du (Longinelli, 1984; Daux et al., 2008; Luz et al., 1984; Luz eta Kolodny, 1985; Levinson et al., 1987; Bryant eta Froelich, 1995; Kohn, 1996; Iacumin eta Venturelli, 2015). Iraganeko euri uren konposizio isotopikoa kalkulatzeko konplexutasunak izan arren, giza aztarnetako oxigeno isotopoen konposizioak mugikortasun ereduak identifikatzea ahalbidetzen du.

Ikerketa honen funtsa Erdi Aroko Tauste herri islamiarren dieta eta mugikortasun ereduak berreraikitzea izan da. Tauste Islamiar hilerriak gizaki mugikortasuna ikertzeko leku egokia dugu, izan ere ipar muga kokatua baitago, denbora epe oso astoratu batean zehar. Horrez gain, elikadura ereduak Erdi Aroko islamiarren gizarteko oinarritzko dinamika azaldu dezake. Horretarako, isotopo egonkorak ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$) eta estrontzio isotopoak ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ikertu dira gizarte egituraketa eta elikadurari buruzko informazioa lortzeko nahian.

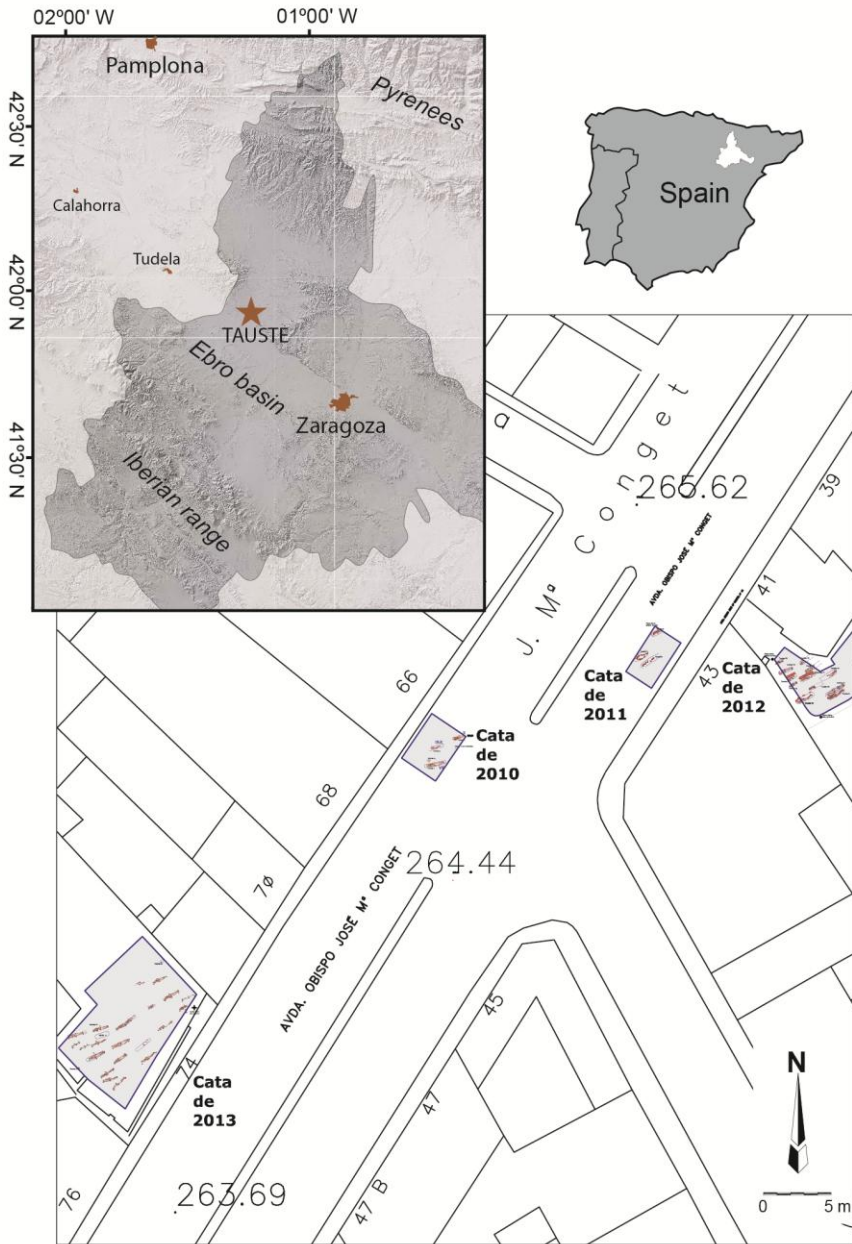
Testuinguru arkeologikoa

Tauste aztarnategia Zaragoza probintziako izen bereko herrian kokatua dago (Espainia iaparraldean) (1. Irudia). Tauste Ebro arroan kokatzen da, Arba ibaian. Tauste Islamiar aztarnategia hilerri batek soilik osatzen du, ez baita beste aztarnarik aurkitu. Hilobi guztiak HM-IE norabidea azaltzen

dute eta gizakien gorpuak beraien eskuinaldera daude jarriak, Islamiar nekropoliaren adierazgarri (Stutz eta Tarlow, 2013) (2. Irudia).

Gizabanako guztiek konekzio anatomikoan aurkitu izan dira. Hilobiak buztintsua den lurzoruan daude eginak, inolako egiturarik gabe edo egitura minimo batekin islamatar erritua jarraituz. Hilobi konplexuei dagozkien egiturak ere aurkitu dira, ehorzketa bikoitza (Shaq orladj) alegia. Antzeko ehorzketa-sistemak ditugu Iberiar Penintsulan beste nekropolia musulmanetan, esaterako Marroquill'es Bajos (Jaen) (Serrano Peña et al., 2000), Tossal de Manises (Alicante) (Olcina et al., 2006) edo Valdeherreran (Calatayud). Gizakien aztarnak hedatzen diren eremua bi hektarea betetzen dute eta ikusita duten dentsitatea ($0,25-0,30$ gizabanako/m²) haurrak kenduta, gutxienez 4500 hilobi egon zitezkeela aurreikusi da (Gutierrez and Pina, 2011; Gutierrez eta Pina, 2016). Bakarrik emakumeei dagokion brontzezko belarritako bat aurkitu zen. Hilobietan ondasun eza egotea ere Islamiar errituaren adierazgarri da. Indusketetan hilobiak gutxienez bi mailatan daudela ikusi da, hilerria denbora luze batean zehar erabilia izan zela markatzen duelarik.

Giza hezurretan Karbono 14 bidezko datazioek hilerriaren hedapen denborala VIII. eta X. mendeen artean kokatzen dute, Iberiar Penintsula Islamiar nekropoli zaharrenetakoa izan ahalko litzatekeelarik (1. Taula, 3. Irudia). Oxcal v 4.2.4 programa (Bronk Ramsey eta Lee, 2013) eta IntCal13 (Reimer et al., 2013) atmosfera datu azken kalibrazio kurba erabili da adinak zehazteko. Kalibratutako adinak % 95.4-ko probabilitatea (2σ) dute eta K:a. moduan eman dira. Nekropoliaren hedadura eta adina kontuan hartuta Banu Qasi dinastiaren, alegia Al-Andalusen ipar muga zehaztu zenean, Tauste herri aberatsa zela adierazten du (Reimer et al., 2013).



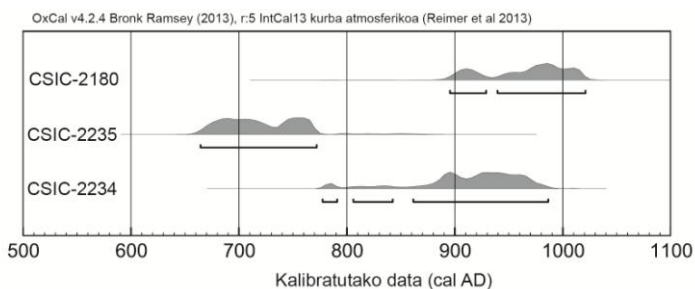
1. **Irudia.** Tauste aztarnategiko eta induskatutako eremuen kokapena. CC lizentziapean eta [Instituto Geográfico Nacional (IGN)] baimenarekin, copyrigh originala [2015].



2. Irudia. Lurperatutako gizanabanako batzuen argazkia, Islamiar hilobiratze erritua jarraituz (ekialdera begira).

1. Taula. Tauste aztarnategiko Karbono-14 bidezko datazioak.

Lagina	Lab. kodea	Urtea	Urtea K.a.		
			-tik	-ra	%
Hilobi 1	CSIC-2180	1072 ±32	895	929	22,7
			939	1021	72,7
Hilobi 2	CSIC-2235	1286±31	664	772	95,4
			777	791	3,3
Hilobi 3	CSIC-2234	1133±28	806	842	5,7
			861	986	86,4

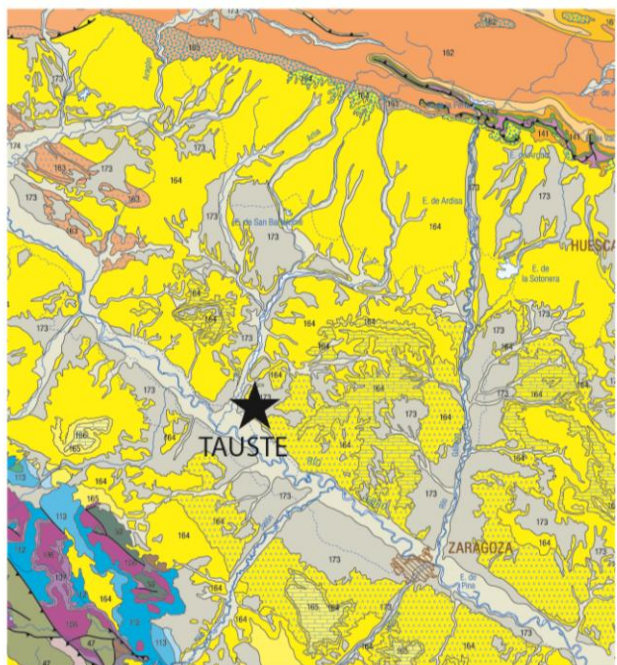


3. Irudia. Tausteko gizaki hezurren datazioak kalibratuak OxCal v4.2.4 (Bronk Ramsey eta Lee, 2013) eta IntCal13 bidez (Reimer et al., 2013).

Geologikoki Tausteko nekropolia Ebro arroan dago kokatua eta Miozenoko garaiko arrokez eta jatorri kontinentaleko Kuaternarioko arroka sedimentarioz osatuta dago (4. Irudia) (Rodríguez Fernández et al., 2015). Tauste inguruko Miozenoko materialak lutitez eta tartekaturik agertzen diren igeltsuzko geruzez osatuak daude. Material hauek aintzirako faziei dagozkie, esaterako kontinenteko arro sedimentario batean metatutako sedimentuak. Miozenoko materialei gainjarriak Kuaternarioko materialak daude, hauek batez ere ibai terrazak eta sedimentu flubialak dira. Arroka amaren izaera ebaporitikoak ingurugiroan gatz kontzentrazioaren gehikuntza ekartzen du. Izan ere, sodio kloruro eta sulfato ioiak maila altua aurki daitezke Arba ibaian (Navas, 1988; Causapé Valenzuela, 2003).

Materialak eta Metodoak

Ikerketa honetan gizaki hezur arkeologikoak aztertzen dira. Materiala hauek erabili ahal izateko beharrezkoak diren baimen guztiak lortu dira araudi guztiak betez. Indusketa lizentziak Aragoi Gobernuak (Espainia) Kultura Ondasunaren Zuzendari Nagusiak eman zituen eta gordeta daude bertako artxiboetan. 2010/2013 urteen artean eta modu jarraian egin ziren indusketa kanpainak, hezur eta hortzen laginak Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV-EHU, Espainia) Ondare eta Kultura Ikerketa Taldera (GIPyPAC) transferitu ziren ikertu ahal izateko. Gaur egun Tausteko material arkeologiko hauek, giza hezurak barne, Zaragozako Museoan daude gordeta.



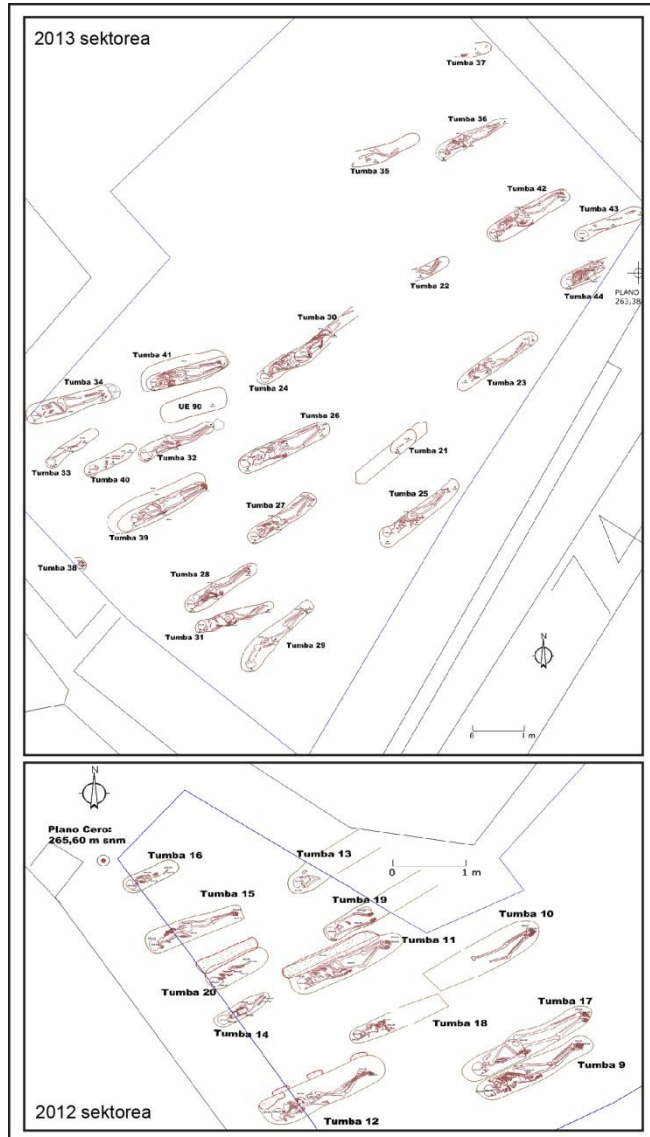
Legenda



4. Irudia. Tauste eskualdeko mapa geologikoa erakutsiz ebaoritikoak diren arroak [hartua Rodríguez Fernández et al. (2015) lanetik]. CC lizentziapean eta [Instituto Geológico y Minero de España (IGME)] baimenarekin, copyrigh originala [2015].

Karbono eta nitrogeno isotopo neurketak egin dira 2012. eta 2013. urteetan induskatutako eremuetako 31 gizabanakoen hezurren kolagenoan (5. Irudia) eta bederatzi animalien hezurretan. Gainera 23 hortzen eta 8 hezurretan estrontzio eta oxigeno isotopoen neurketak egin dira. Estrontzioaren oinarritzko konposizioa jakin nahian lau lurzoru

eta ibaiako ur lagin bat analizatu dira. Lurzoru laginak hilerriaren alde ezberdinetan hartuak dira, eta ura Taustetik hurbil dagoen Arba ibaiko da. Ura ibaiaren ertzean hartu da. Analisisien aurretik, ur laginak filtratuak izan dira izan zitezkeen partikulak kentzeko.



5. Irudia. Ikertutako gizabanakoak erakusten dituen induskatutako bi eremuen irudia (2012 eta 2013 urteetako sektoreak).

Filtraketa xiringa iragazkiekin egin da (0,45 μm) eta ur horren 10 ml erabili dira analisirako. Lehenik 80°C-tan ebaporatzen usten da gau oso bat 15 ml-ko ontzian (Savillex TM) eta ondoren 1,5 ml 2N HNO₃ gehitzen zaio disolbatzeko.

Analizatutako gizabanakoak 12 gizon, 10 emakume eta 9 sexu zehaztugabekoak dira (Gutiérrez eta Pina, 2016). Gizabanakoak adinaren arabera infante (0-3 urte), haur (6-12 urte), gazteak (12-17 urte), heldugazteak (18-24 urte), helduak (35-50 urte) eta nagusiak (50 urte baino gehiago) bezala banatzen dira. Katgoria honen arabera 2 dira nagusiak, 11 helduak, 6 gazteak, 7 gazte helduak eta 4 infanteak eta azkenik 1 ezin izan dena zehaztu. Sexuaren sailkapena egiteko dimorfismo eredu klasikoak erabili dira, adinaren kasuan ezaugarri ezberdinak erabili dira: Azalera aurikularra eta sinfisi pubikoaren aldaketak, epifisaren itxiera, garezurreko joskurak eta hortzetako erupzioa (White et al., 1991). Animalien laginak hiru sagu (*Apodemus sylvaticus*), hiru satitxu (*Crocidura russula*) eta bi barbo arruntenak (*Barbusbarbus*) dira eta madrila (*Parachondrostoma miegii*) batenak dira.

Karbono eta nitrogeno isotopoen analisiak egiteko hezurretako kolagenoa atera da Bocherens et al. (1991) ren prozedura jarraituz. Ehotutako 300 mg hezur lagin hartu dira eta 1M HCl tan desmineralizatu dira 20 minutuz lagina disolbatu den arte. Azido humikoa kentzeko ur distilatuarekin garbitu da hainbat alditan eta 0,125M NaOH gehitu zaio. Berriz ere garbitu da soluzioa hainbat alditan eta 10 ml pH 3 ko HCl-tan utzi da 90°C-tan. Bukatzeko filtratu egiten da lagina xiringa filtro batzuekin (5 μm) eta liofilizatu. Liofilizatutako kolagenoa (2,5-3,5 mg) sartzen dira estainuzko kapsulan isotopo analisirako. Karbono eta nitrogeno isotopo analisiak IsoAnalytical-eko (Cheshire, UK) analizadore

elemental eta fluxu jarraituko masa espektrometro batekin (EA-IRMS) egin dira. Neurketa errepikakorrak egin dira NBS-1577B gibal estandar eta IA-R045 amonio sulfato estandarrekin tresneriaren zehaztasun baieztatzeko. NBS-1577B estandarren analisiak $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ $-21,62\pm 0,02$ (1σ , $n = 7$) eta $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ $7,62\pm 0,13$ (1σ , $n = 7$) eman dute, eta IA-R045 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ $-4,56\pm 0,17$ (1σ , $n = 4$) eta $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ $-26,1\pm 0,03$ (1σ , $n = 4$). Balio isotopikoa δ eta milakotan (‰) ematen dira internazionalki definitutako karbono (VPDB: Vienna Pee Dee Belemnite) eta nitrogeno (AIR: Ambient Inhalable Reservoir) estandarrekiko. Zehaztasun intrumentala $\delta^{13}\text{C}$ rentzat $\text{‰}\pm 0,06$ edo hobeagoa izan da eta $\delta^{15}\text{N}$ kasuan $\text{‰}\pm 0,06$ eta $\text{‰}\pm 0,08$ artean dago, determinatuak analizatutako barne estandarren bidez. Hortzen esmalte eta hezurretako estrontzio eta oxigeno isotopoen konposizioa determinatzeko erabili dira.

Laginak garbitu dira bainu ultrasoniko baten bidez atxikituta izan zitekeen zikinkeria kendu eta analisisen kutsadura saihesteko. Estrontzio isotopoen analisiak egiteko hortzen esmaltearen zati bat hartu da diamantezko estaldura duen taladro baten bidez (MF-perfect, W & H Dentalwork, Burmoos, Austria). Esmaltearen laginketa hortzarekiko zeharka egin da. Esmalte eta hezur laginak disolbatuak izan dira 7 ml-tako Savillex1 bialeetan (Minnetonka, MN, USA) 1,5 ml 2N HNO_3 (purifikatua suboiling bitartez). Konposizio isotopiko lokala definitzeko bi ur lagin eta lau lurzoru lagin analizatu dira. 15 ml ur ebaporatu dira eta ondoren disolbatu 2ml HNO_3 -tan. Beste aldetik, 1g lurzoru lagin bakoitzeko hartu da eta 2,5 ml 1M amonio nitratotan (NH_4NO_3) disolbatu da eta 8 ordu ostean lurzoruak duen elikakatera sartzen den estrontzio eskuratu da. Laginak zentrifugatzen dira 3000rpm 15 minutuz eta gaineko soluzioa (1-2 ml) erauzi egiten da eta ebaporatu eta ondoren berriro disolbatzen da, kasu honetan 2 ml HNO_3 -rekin. Soluzioak Sr.spec-dun, alegia

hautatutako estrontzio erretxinadun katioi truke zutabeetan botatzen da (ElChroM industriak, Dariel, Illinois, AEB). Lagin bakoitza egin ostean erretxina bota egiten da eta berria jarri. Estrontzio prozesu hutsuneak 100 pg baino txikiagoak izan dira eta beraz, ez du garrantzizko ekarpenik egiten. Estrontzio erradiogenikoaren laginak Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) Ikerkuntzarako zerbitzu orokorrek inductiboki akoplatutako plasma iturridun bereizmen handiko masa-espektrometroan (MC-ICP-MS, Neptune) analizatu dute. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ neurketak kripton (Kr) eta rubidio (Rb) interferentzien bidez zuzendu dira eta normalizatu $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8,375209$ bidez. Egindako errepikatutako NIST-987 estandar internazionalaren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ balioak $0,710262 \pm 0,000026$ (2σ , $n = 3$) izan dira. Epe luzeko $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ balioa hogeita bi hilabeteko epea baino gehiago zehaztua izan zen, $0,710266 \pm 0,000021$ (2σ , $n = 47$) balioa emanik. Hortzen esmalteak oxigeno isotopoen analisirako ere prestatu dira Stephan (81) prozedura jarraituz. Ehotutako hortz esmaltearen 60 mg prozesatu dira. Materia organikoa kentzeko % 2,5 NaOCl soluzioa bat gehitu zaio 24 ordutan zehar, jarraian 48 orduz 0.125M NaOH -rekin tratatu da.

Materia organikorik gabeko hauts bihurtutako hidroxiapatittoa disolbatua izan zen HF 2 ml 24 orduz. Fosfato soluzioa eta hondakina banatuak izan ziren zentrifugazio bitartez, pipeta batekin hartu zen soluzioa eta 100 ml-ko kristalezko ontzi batera pasa ziren neutralizatuz 3ml 2M KOH-rekin. 30 ml zilarrezko amida soluzioa (0,2 M AgNO_3 ; 1,16 M NH_4NO_3 ; 0,75 M NH_4OH) gehitu zitzaion eta 5-6 ordutan zehar 70°C tan izan ondoren zilarrezko fosfotua (Ag_3PO_4) hauspeatu zen. Zilarrezko fosfotuzko kristalak iragazkiak izan ziren $0,2 \mu\text{m}$ tamainako iragazkien bidez eta garbituak hainbat alditan ur distilatuarekin, azkenik 1-2 orduz 50°C lehortuak izan ziren. Ondoren zilarrezko kapsuletan 0,3 mg Ag_3PO_4

0,5–1 mg AgCl eta 0,3 mg grafitorekin nahastu ziren. Kapsulak oinarrizko temperatura bihurtuta analizatzaile (TCEA) batera sartu ziren eta 30 minutuz gasgabetuak 80°C presio hutsean. Oxigeno isotopo analisiak Parma Unibertsitateko Delta Plus XP espektrometro batera loturik dagoen Thermo Finnigan TCEA batekin egin dira. Konposizio isotopikoak δ idazkerarekin eta V-SMOW -arekiko erlatiboki eman dira (Vienna-Standard Mean Ocean Water). V-SMOW -aren normalkuntza Nazioarteko Energia Atomikoko Agentzial emandako erreferentzia diren lau materialen erreplikaz egin dira (IAEA): IAEA-601, IAEA-602, IAEA-CH6, eta IAEA-SO-6. Zehaztasun analitikoak $\text{‰}\pm 0,4$ -koa baino hobea izan da.

$\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ eta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ konposizioetan ezohizko balioak identifikatzeko bi teknika estadistiko erabili dira. Barruko lagin aldakuntza mugak zehaztu ziren bi eskala neurketen bidez: ± 2 desbideratze estandarra (2SD) eta Tuke tartea metodoa (IQR) kontuan hartuta $1.5 \times \text{IQR}$ eta $3 \times \text{IQR}$ (Lightfoot eta O'Connell, 2006). Parametro estadistikoak erabili dira deskribatzeko isotopoen banaketa egiteko eta taldeen arteko isotopo balioak konparatzeko. Gainera, lagin taldeen arteko ezberdintasunak analizatu ziren Ikasle t-test erabiliz. Estadistika esangura $p > 0,05$ hartu da. Estadistika SPSS v.20 (Gizarte zientzien pakete estadistikoa) programaren bidez egin da.

Emitza eta Eztabaida

Mugikortasun ikerketa

23 giza hortzen esmalteen eta 8 hezurren estrontzio eta oxigeno isotopoen datuak eta baita Tausteko estrontzio isotopo konposizioaren balioa lortzeko analizatutako materialen balioak 2. Taulan ikus daitezke.

2.-Taula. Tauste aztarnategiko gizaki hezur, hortz, ura eta lurzoru laginen estrontzio, karbono, nitrogeno eta oxigeno isotopoen emaitzak.

Lagina	Sexua	Material	Hotz Mota	Adina	% N	$\delta^{15}\text{N}$	% C	$\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{18}\text{O}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE
T-9	e	Saihetsa		50-60	15,4	12,7	42,7	-19,3	3,23		0,70868	0,00001
		Esmaltea	M2							16,35	0,70855	0,00002
T-11	g	Saihetsa		45	14,9	15,4	40,8	-19,5	3,19			
		Esmaltea	M2							16,72	0,70855	0,00002
T-12	g	Saihetsa		40-45	16,7	15,7	45,8	-19,5	3,20			
		Esmaltea	E							16,78	0,70858	0,00001
T-13	g	Saihetsa		40-50	15,6	16,3	42,8	-19,0	3,21			
		Esmaltea	M2							18,00	0,70857	0,00002
T-14	?	Saihetsa		2-4	16,6	16,8	45,6	-18,9	3,21			
T-15	e	Saihetsa		33-45	13,9	15,6	39,2	-18,5	3,29		0,70867	0,00001
		Esmaltea	M2							14,25	0,70860	0,00001
T-16	?	Saihetsa		2	15,2	16,3	42,3	-17,0	3,25			
		Esmaltea	M2							17,03	0,70863	0,00001
T-17	g	Saihetsa		33-45	15,5	15,3	42,5	-19,3	3,21		0,70868	0,00001
		Esmaltea	M2							16,65	0,70861	0,00002
T-18	g	Saihetsa		25-35	15,1	13,7	42,1	-18,8	3,24		0,70869	0,00001
		Esmaltea	M2							17,17	0,70862	0,00001
T-19	e	Saihetsa		33-45	14,5	14,1	40,2	-19,0	3,24			
		Esmaltea	M2							17,14	0,70850	0,00002
T-21	?	Saihetsa		Indet	15,0	9,6	41,7	-19,3	3,25		0,70869	0,00001
T-22	?	Saihetsa		>17	15,0	15,9	41,3	-19,1	3,22			

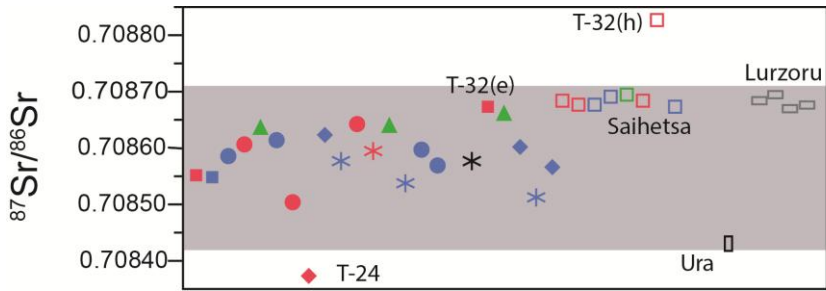
2.-Taula. Jarraipena. Tauste aztarnategiko gizaki hezur, hortz, ura eta lurzoru laginen estrontzio, karbono, nitrogeno eta oxigeno isotopoen emaitzak.

Lagina	Sexua	Material	Hotz Mota	Adina	% N	$\delta^{15}\text{N}$	% C	$\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{18}\text{O}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE
T-23	e	Saihetsa		30-35	15,8	14,3	43,2	-19,1	3,20			
T-24	e	Saihetsa		25-35	13,9	16,3	38,5	-19,3	3,23		0,70868	0,00001
		Esmaltea	M2							17,9	0,70837	0,00001
T-25	e	Saihetsa		>20	15,3	16,0	42,4	-19,0	3,24			
T-26	m	Saihetsa		25-35	15,9	16,0	43,6	-19,4	3,19			
		Esmaltea	M2							16,64	0,70862	0,00002
T-27	(m)	Saihetsa		15-17	15,1	13,5	41,7	-19,3	3,23			
		Esmaltea	L							16,92	0,70857	0,00002
T-28	?	Saihetsa		12-15	14,8	15,8	40,9	-19,3	3,22			
		Esmaltea	M2							17,8	0,70858	0,00002
T-29	?	Saihetsa		>25	13,1	15,5	36,2	-19,1	3,23			
T-30	e	Saihetsa		35-45	15,4	14,3	42,2	-18,4	3,21			
		Esmaltea	M2							18	0,70864	0,00001
T-31	e	Saihetsa		16-20	15,8	14,2	43,7	-18,8	3,22			
		Esmaltea	M2							14,48	0,70859	0,00002
T-32	e	Saihetsa		45-55	15,8	10,8	43,6	-19,0	3,23		0,70883	0,00002
		Esmaltea	M2							17,9	0,70867	0,00002
T-33	?	Saihetsa		4-6	15,7	14,6	43,7	-19,5	3,24			
		Esmaltea	M2							17,0	0,70864	0,00002
T-34	g	Saihetsa		12-15	15,8	15,5	43,9	-18,7	3,25			
		Esmaltea	M2							16,9	0,70853	0,00002

2.-Taula. Jarraipena. Tauste aztarnategiko gizaki hezur, hortz, ura eta lurzoru laginen estrontzio, karbono, nitrogeno eta oxigeno isotopoen emaitzak.

Lagina	Sexua	Material	Hotz Mota	Adina	% N	$\delta^{15}\text{N}$	% C	$\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{18}\text{O}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE
T-35	?	Saihetsa		40-50	15,1	16,9	41,9	-19,2	3,25			
T-36	e	Saihetsa		50-65	14,9	13,9	41,4	-19,1	3,24			
T-39	g	Saihetsa		40-50	14,1	16,5	39,2	-19,5	3,23		0,70867	0,00001
		Esmaltea	M2							17,4	0,70860	0,00002
T-40	?	Saihetsa		3-5	16,1	17,5	44,1	-19,9	3,20			
		Esmaltea	M2							17,06	0,70866	0,00002
T-41	g	Saihetsa		20-30	16,3	15,0	45,3	-19,5	3,24			
		Esmaltea	M2							17,0	0,70860	
T-42	g	Saihetsa		35-45	16,7	17,0	46,4	-19,0	3,23			
		Esmaltea	M2							19,1	0,70851	
T-44	g	Saihetsa		25-35	16,7	14,0	46,2	-18,9	3,23			
		Esmaltea	M2							19,3	0,70856	
T-39*		Lurzorua									0,70868	0,00002
T-41*		Lurzorua									0,70869	0,00002
T-42*		Lurzorua									0,70867	0,00001
T-44*		Lurzorua									0,70867	0,00001
W-Arba		Ibaiko ura									0,70843	0,00001

g= gizona; (g) = gizona?; M= molarra; L=letagin; E=ebakortz; ? = zehaztugabea; e= emakumea. *= lurzorua. 2SE=akats estandarra



Esmaltea

- | | | |
|---------------|------------|-----------------|
| ▲ Haur | □ Saihetsa | ■ Gizon |
| * Gazte | □ Ur | ■ Indeterminatu |
| ◆ Heldu-gazte | □ Lurzoru | ■ Emakume |
| ● Heldu | | |
| ■ Nagusi | | |

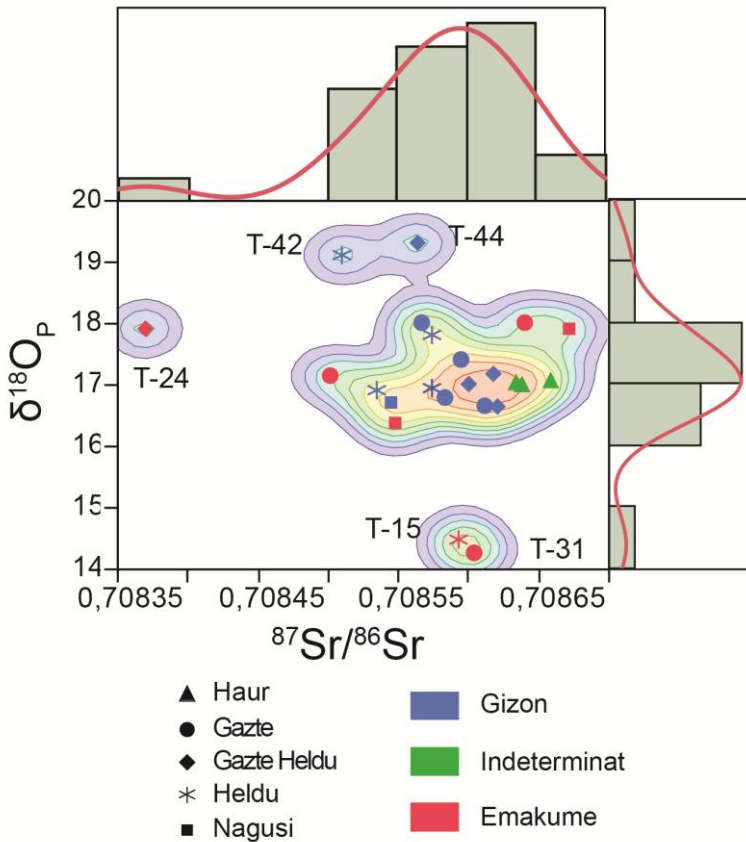
6. Irudia. Ikertutako laginen estrontzio isotopo aldakuntza. Eremu grisa lokala den estrontzio konposizioari dagokio, definitu ura eta lurzoru laginekin. Laburdurak: (e): esmalte laginak, (b): hezur laginak.

T-24 emakume heldu-gaztearen esmaltea estrontzio isotopo balio baxuagoak ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70837$) erakusten du, aldiz T-32(b) emakume helduaren hezurra estrontzio balio altuagoa aurkezten du ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70883$) (6.Irudia). Emakume hauen bi konposizio hauek mugikortasun patroia ezberdinak markatzen dituzte. T-24 emakumearen balioak beste toki batean jaio zela adierazten digu eta Tausten hil zela. T-32(b) emakumeak aldiz, haurtzaroa tausten pasa zuela adierazten digu, ondoren beste toki batera mugitu zela eta hil aurretik urte gutxi batzuk lehenago Taustera bueltatu zela.

Esmalteko fosfatoaren oxigeno ratioak ($\delta^{18}\text{O}_p$) ‰14,25 eta ‰19,30 bitartean daude. Kernel dentsitatean oinarrituta (7.Irudia), hiru talde bereiztu daitezke: ‰16,4 – 18 balioak dituen talde handi bat

(n=18), bi talde txikiagoak, bat bi gizonezkoz osatuta dagoena ‰19,2 baino balio handiagoekin eta bestea bi emakumez osatua 14,4‰ baino balio baxuekin. Lekuko ur meteorikoaren $\delta^{18}\text{O}_{\text{dw}}$ ‰-5,6 -koa da (2000 eta 2006. urteen arteko batazbesteko balioa) Zaragoza aireportuko estazioko datuak kontuan hartuta (Global Network of Isotope in Precipitation, 2015). Tausteko gizakien $\delta^{18}\text{O}_{\text{dw}}$ balioak fosfato/ur edangarriaren ekuazioen bidez kalkulatu da (White et al., 1998; Daux et al., 2008; Luz et al., 1984; Levinson et al., 1987; Iacumin eta Venturelli, 2015), eta balio hauek konparatu dira lekukoak izango ziren balioekiko, zeintzuek atera diren IAEA/WISER datu basetik (Global Network of Isotope in Precipitation, 2015). Iacumin eta Venturelli (2015) ekuazioa erabili da ur edangarriaren oxigeno isotopoen balioa lortzeko. Biztanlearen gehienak erakusten dituen kalkulaturako $\delta^{18}\text{O}_{\text{dw}}$ balioak ‰-3,7 eta ‰-6,9 artean daude, zeinak bat datozen ur meteoriko lokalekin (‰-4,1 eta ‰-6,3) (Global Network of Isotope in Precipitation, 2015). 1.5xIQR eta 2SD metodoak erabili dira kanpotarrak identifikatzeko. Talde handitik bi gizon zeintzuk beroagoa, kostaldera hurbilago edo klima lehorrago batetik eta eta bi emakume daude, hotzagoa edo altitude handiago bateko eskualdetik etorri diren, hurrenez hurren.

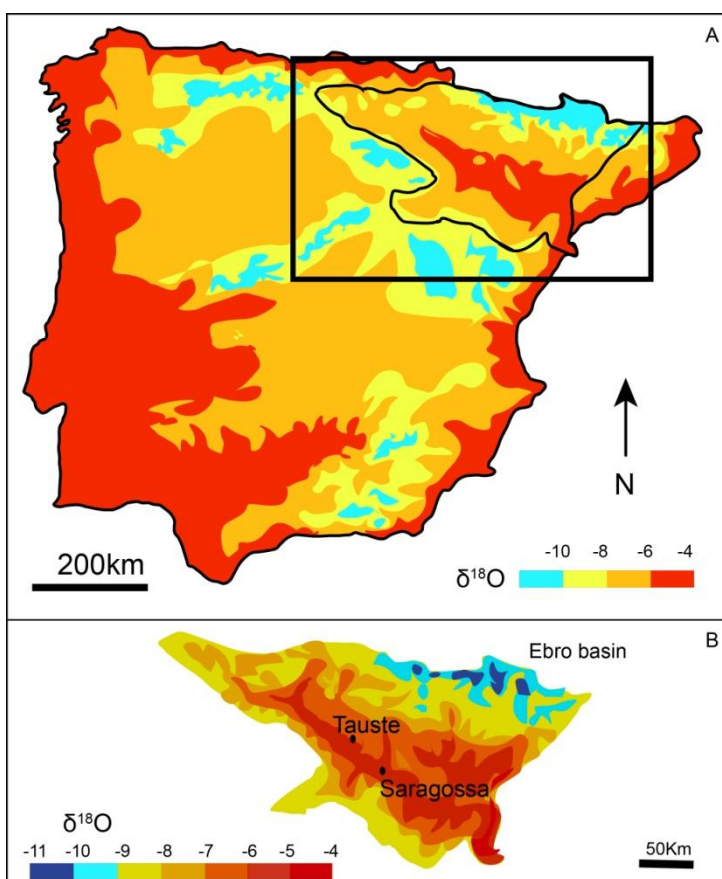
Hortz bakoitzaren oxigeno datuak konparatzen direnean $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -arekin hiru taldeak estrontzio isotopo lokala den konposizioarekin bat datoz. Bakarrik T-24 emakumea erortzen da lokala izango litzatekeen tartetik kanpo, baina Tausterako kalkulaturako oxigeno balio tartearen barnean dago (7. Irudia). Tausteko ur meteorikoen antzeko $\delta^{18}\text{O}$ balioak geografikoki banaketa zabala dute (8. Irudia). Iberiar Penintsulako estrontzio datu baserik ez izateak T-24 emakume kanpotarren jatorri eskualdea ezagutzea oztopatzen du.



7.- Irudia. Tauste aztarnategiko hortz esmalteen $\delta^{18}\text{O}$ versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Kernel densitate lerroek % 10 errepresentatzen dute.

Islamiar garaian zehar Ebro harana, Mediterraneo kostaldetik eta Iberiar Penintsularen iparralde eta Pirineoen bestealdeko eskualdeen arteko komertzio ibilbide izan zen. Kontutan harturik oxigeno eta estrontzio isotopoen datuak, gizabanako kanpotar bi multzoen jatorri eskualdeak Ebro haranean egongo ziren. Goi Erdi Aroan zehar jende gutxi bidaiatuko zuen zaila eta arriskutsuegia zelako. Emakume Islamiarrak odolkidetasun ezkontzei lotuak zeuden, emakumeen mugitu

ziren zergatia ezkontza izango zen. Gizonak mugitzeko arrazoia aldiz, aukera ekonomiko hobekoak lortzeko eta beraien maila soziala hobetzearen asmotan izango litzateke. Beraz, Taustekoak ez diren gizonezkoak herri txikietatik Tauste bezalako hiri handietara lan bilatzeagatik mugituko zirela uste da. Gainera, politikoki momento ezengonkorra bizi izan zuen Goi Markako mugaren eskualdeak, horrela esialdeak jendea mugitzera eramanez handiagoak eta seguruagoak ziren hirien erdigunerantz (Bittel, 2002).



8.- Irudia. A. Iberiar Penintsulako oxigeno isotope mapa (Bol et al., 2005; White, 2013). B. Ebro bailarako oxigeno isotopoen detailezko mapa (Bol et al., 2005; White, 2013).

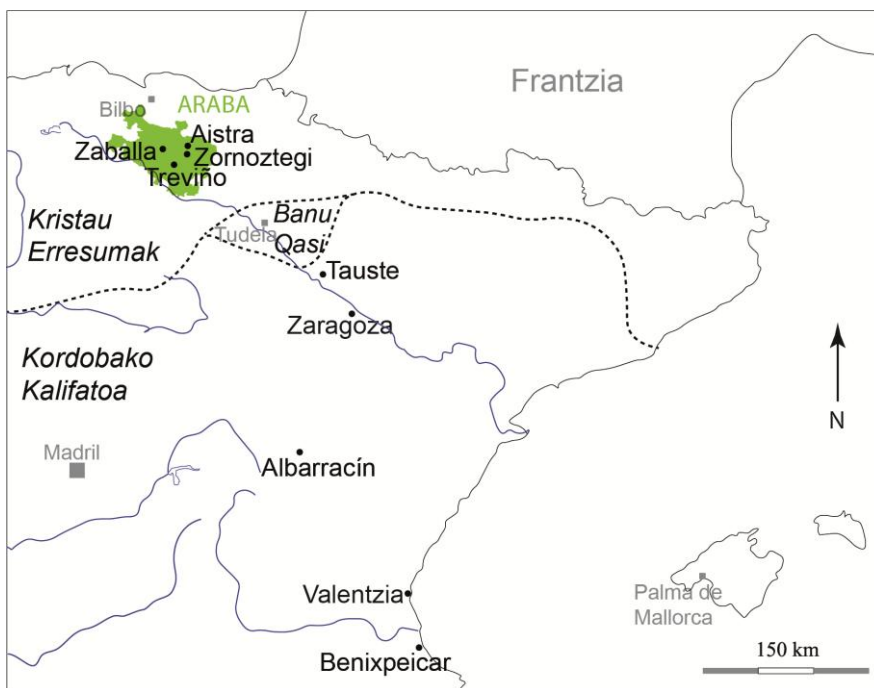
Elikaduraren birreraiketa

Hezurretik lortutako kolagenoaren kalitatea oso ona da eta batesbesteko balio % $6,27 \pm 4,19$ (1s.d.) du. Karbono eta nitrogeno kantitatea hezurreko kolagenoan % $13,1-16,8$ eta % $25,6-36,2$ artean dago, hurrenez hurren. Ondo kontserbatuako hezur kolagenoak dira, 2,9 eta 3,6 (%) tarteko karbono/nitrogeno erlazio molarra erakuten dutelako (DeNiro, 1985; Ambrose, 1990). 2. Taulan azaltzen dira gizakien datuak.

Gizaki hezur laginen $\delta^{13}\text{C}$ erlazioaren balioak ‰-17,0 eta ‰-19,9 artean dira batazbesteko balioa ‰-19,1±0,50, eta $\delta^{15}\text{N}$ erlazioaren balioak ‰9,6 eta ‰ 17,5 bitartean daude, batazbesteko balioa ‰14,9±1,74 da. Biztanleriaren gehiengoaren $\delta^{15}\text{N}$ balioak lurreko ekosistema baten oinarrien aurkituko genukeen balioa baino %5 altuagoak dira (7.irudia), maila trofiko baten desplazamendua baino handiagoa erakusten dute (Barret et al., 2002; Müldner eta Richards, 2007; Bocherens eta Drucker, 2013).

Tausteko gizakien balioak garai bereko Iberiar Penintsulako beste lekuetako Islamatar eta Kristau biztanleriarekin konparatu dira (9. Irudia). Ez dago ezberdintasun esanguratsurik Tauste (‰-19,1±0,5) eta hurbileko islamatar biztanleriaren $\delta^{13}\text{C}$ erlazioen artean ($\delta^{13}\text{C}$ ‰-19,0±0,3 Zaragozan eta ‰ -19±0,2 Albarracín herrian), edo Tauste eta beste kristau biztanleriaren artean ($\delta^{13}\text{C}$ ‰-18,4±1,1 Jacan, ‰ -18,4±0,6 Valentzian, ‰ -19,0±1 Aistran, ‰ -19,8±0,7 Zaballan, ‰ -18,1±1,1 Zornoztegin eta ‰ -19,6±0,7 Treviñon (Quiros Castillo, 2013; Munde, 2010; Alexander et al., 2014) (3. Taula, 10. Irudia). Hala ere Benipeixcarreko biztanleria islamiarrak $\delta^{13}\text{C}$ balioak (‰ -16,36±0,9) aberastuak erakusten ditu, itsasoko elikagaien kontsumoarekin erlazionatu daitekeelarik (Alexander et al., 2014). Aldiz, Tausteko $\delta^{15}\text{N}$

erlazioaren balioak (batezbesteko $\%15,0 \pm 1,7$) konparatzean garai bereko Iberiako Erdi Aroko Kristau eta Islamiar beste biztanleriekin ($<\%11$) askoz ere altuagoak dira (3. Taula). Horrela, gizakien elikaduraren ondorio fidagarriak izateko beharrezkoa da fauna aztertzea. Zailtasunak izan dira lekuko oinarrizko konposizio isotopikoa finkatzeko, Islamatar hilobiratzeek ez dutelako usten objektuekin hilobiratzea. Gainera Islamiar herriaren arrastorik eta garai hartako faunaren ebidentziarik ere ez da aurkitu izan indusketak egitean. Beraz, oinarrizko konposizioa lokala ezin izan da finkatu datu arkeozoologikoekin.



9.- Irudia. Islamiar eta Kristau aztarnategien kokapena eta Goi Marka edo Islamiar iparraldeko muga IX. mendean zehar.

3. Taula. Tauste aztarnategiko karbono eta nitrogeno isotopoen batezbestekoak, desbideratze estandarra, max eta min balioak eta azpitaldeak (sexu eta adina). Konparaketan erabilitako Kristau aztarnategiak: Zornoztegi, Aistra, Zaballa, Treviño, Jaca, Valencia; eta Islamiar aztarnategiak: Albarracín, Benipeixcar eta Zaragoza (Quiros Castillo, 2013; Munde, 2010; Alexander et al., 2014).

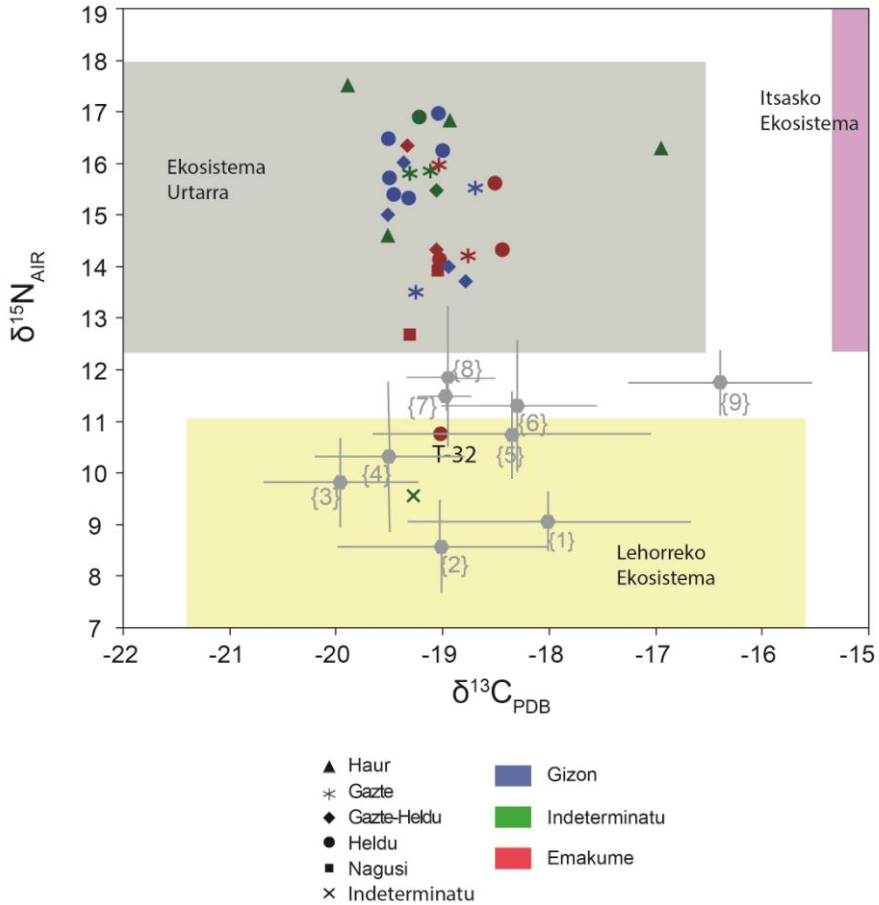
Aztarnategia	Erljioa	N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)				$\delta^{15}\text{N}$ (‰)			
			Batezbestez	Des Sta	Max	Min	Batezbestez	Des Sta	Max	Min
Tauste (VIII-X)	I	31	-19,1	0,5	-17,0	-19,9	15,0	1,7	9,6	17,5
Gizon	I	11	-19,2	0,3	-18,7	-19,5	15,5	1	17,0	13,7
Emakume	I	10	-19,0	0,3	-18,4	-19,3	14,2	1,6	17,5	10,8
Haur	I	4	-18,8	1,3	-17,0	-19,9	16,3	1,2	17,5	14,6
Gazte	I	6	-19,0	0,3	-18,7	-19,3	15,1	1,0	16,0	13,5
Gazte-heldu	I	7	-19,2	0,3	-18,8	-19,5	15,0	1,0	16,3	13,7
Heldu	I	11	-19,1	0,4	-18,4	-19,5	15,3	1,8	17,0	10,8
Nagusi	I	2	-19,2	0,2	-19,1	-19,3	13,3	0,9	14,0	12,7
Alaba (VIII-XV)	K	71	-19,1	0,8	-18,1	-19,8	8,7	0,8	9,6	7,9
Zaballa (X-XV)	K	14	-19,8	0,7	-18,8	-21,3	9,0	0,8	10,4	7,6
Zornoztegi (XII-XIV)	K	7	-18,1	1,1	-16,7	-19,9	8,3	0,6	9,2	7,5
Aistra (VIII-IX)	K	35	-19,0	1,0	16,7	-22,0	7,9	1,0	12,1	6,8
Treviño (XII-XIV)	K	15	-19,6	0,7	-18,7	-22	9,6	1,2	12	7,5
Jaca (XIII-XV)	K	25	-18,4	1,1	-15,3	-19,6	10,0	0,8	12,2	8,6
Valencia (XIV-XV)	K	18	-18,4	0,6	-16,8	-19,3	10,5	1,1	11,7	8,0
Zaragoza (X-XII)	I	36	-19,0	0,3	-18,2	-19,6	10,9	1,4	14,1	9,0
Albarracín (X-XII)	I	31	-19,0	0,2	-18,5	-19,4	10,8	0,6	12,1	9,4
Benipeixcar (XV-XVI)	I	20	-16,36	0,9	-14,2	-18,0	10,7	0,6	11,9	9,2

K., Kristau; I., Islamiar

Gaur eguneko etxeko animaliak ez dira erabili Tauste eremuko isotopoen balioa finkatzeko jatorri kanpotarreko elikagaiak ematen zaizkietelako eta beraz lortuko genukeen konposizioa ez zen lokala izango. Gainera etxeko animaliek nitrogenoan balioak baxuagoak azaltzen dituzte ongarrri mineralen erabileraren ondorioz (Bol et al., 2005; White, 2013). Ongarrri efektuez gain, abereen isotopoen konposizioan ere eragina du. Faktore guzti hauek ondorioz ez dira erabili ugaztun handiak karbono eta nitrogeno isotopoen konposizio lokalarekin finkatzeko.

Arrazoi honengatik, lekukoak diren bi ugaztun espezie txiki eta ur gezako arraina analizatu dira, Tausteko biztanleriaren elikadura oinarriaren isotopoen konposizio ezagutu ahal izateko. Ugaztun txikiak aukeratu dira beraien mugimendu baxuaren ondorioz bizi diren eremua mugatua izanik, lokala den konposizioa islatuko duteelako. Horrenbestez, sagua (*Apodemus sylvaticus*) zein belarjalea den, eta, satitxua (*Crocidura russula*), zeinak sagua baino maila trofiko altuagoa duen kate trofikoan, izan dira aukeratutako espezieak.

Lehenik maila trofikoak igotzeak isotopoen konposizioan dakarren aberastea finkatu beharra dago. Horretarako hurbileko kristau eta islamiar egonlekuen animalia eta gizakien balioekin alderatu dira (4. Taula, 11. Irudia). Araba eta Benipeixcar Islamiar aztarnategietako abereek $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balio ezberdinak erakutsi dituzte. Landare eta animalen nitrogeno balioetan baldintza klimatikoek eragin handia dute (Ambrose, 1991). Arabako animalia laginak Iberiar Penintsularen iparraldean kokatzen dira, klima hezeagoa denez nitrogeno balioak baxuagoak dira Benipeizcarrrekiko, non Mediterraneo kostaldeko klima lehor eta beroagoa den.

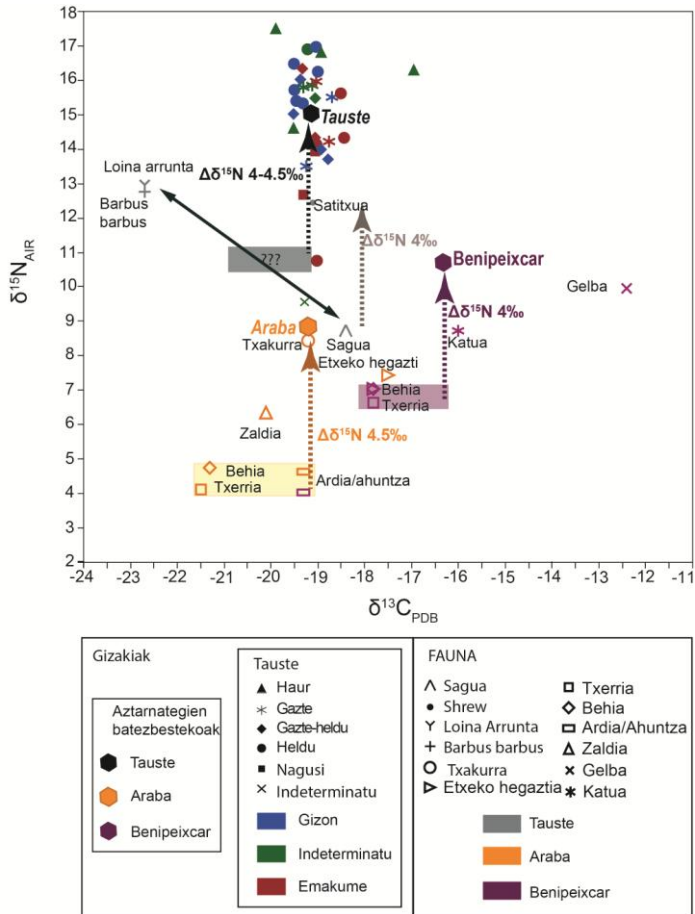


10. Irudia. Tausteko gizabanakoen $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioen diagrama. Ekosistemen kutzak oinarrituak daude Ambrose (1990), eta Müldner eta Richards (2007)-ren fauna datu baseetan. Maila trofikoaren efektua zuzendua dago. 1-9 Iberiar Penintsulako Ismaliar eta Kristau aztarnategi garaikideak dira: (1) Zornostegui XII-XIV. mendeak, (2) Aistra VIII-IX. mendeak, (3) Zaballa X-XV. mendeak, (4) Treviño XII-XIV. mendeak, (5) Jaca XIII-XV. mendeak, (6) Balentzia XIV-XV. mendeak (7) Albarracín X-XII. mendeak, (8) Zaragoza X-XII. mendeak, (9) Benipeixcar XV-XVI. mendeak (1)-(4) (Quirós Castillo, 2013), (5)-(8) (Mundee, 2014), (9) (Alexander et al., 2014).

4. Taula. Tauste eskualdeko gaur eguneko faunaren eta Alaba eta Benipeixcar aztarnategiko arkeofaunaren (Quirós Castillo, 2013; Munde, 2014; Alexander et al., 2014) karbono eta nitrogeno isotopoen datuak (batezbesteko, SD, max eta min).

Aztarnategia	Espezia	N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)				$\delta^{15}\text{N}$ (‰)			
			Batezbestez	Des Sta	Max	Min	Batezbestez	Des Sta	Max	Min
Tauste	Barbo arrunta	2	-22,7	0,3	-22,5	-23	12,7	0,1	12,8	12,7
	Loina arrunta	1	-22,7	-	-	-	12,9	-	-	-
	Satitxua	3	-19,1	2,8	-16	-21,5	12,4	2,2	14,5	10,1
	Sagua	3	-18,4	0,9	-18	-19,4	8,7	0,7	9,3	7,9
Alaba	Behia	6	-21,3	1,1	-19,8	-22,7	4,7	1,1	6,1	3,5
	Ardi/ahuntz	2	-19,3	0,9	-18,7	-19,9	4,6	2	6,1	3,2
	Txerria	3	-21,5	0,6	-20,8	-22,0	4,1	1,9	6,1	2,3
	Zaldia	1	-20,1	-	-	-	6,3	-	-	-
	Txakurra	2	-19,2	0,7	-18,6	-19,7	8,4	1,4	9,4	7,4
	Hegaztiak	2	-17,5	2,4	-15,8	-19,1	7,4	0,1	7,5	7,4
Benipeixcar	Behia	5	-17,8	2,8	-14,3	-20,1	7,0	1,2	8,5	5,7
	Ardi/ahuntz	9	-19,3	0,2	-19,1	-19,5	4	0,8	5,6	2,9
	Txerria	1	-17,8	-	-	-	6,6	-	-	-
	Hegaztiak	4	-17,8	2,0	-13,3	-17,5	7,0	4,0	9,7	1,0
	Katua	3	-16,0	0,5	-15,5	-16,3	8,7	0,5	9,1	8,1
	Gelba	1	-12,4	-	-	-	9,9	-	-	-

Gizakien eta animalien balioak konparatzean, abere eta gizakien arteko batesbesteko desplazamendua $\delta^{13}\text{C}$ ‰ 1,5 eta $\delta^{15}\text{N}$ ‰ 4–4,5 –koa dela ikusi da (11. Irudia), maila trofiko baten aurkitu daitekeenaren antzekoa izanik (Drucker eta Bocherens, 2004).



11. Irudia. Tausteko Erdi aroko gizaki eta gaur egungo faunaren eta konparaketarako erabilitako Alaba eta Benipeixcar aztarnategiko arkeofauna eta gizakien (Barrett et al., 2002; Quirós Castillo, 2013) $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioak. Koloredun triangeluak lokala den karbono eta nitrogenu balioak islatzen ditu. Geziek $\delta^{15}\text{N}$ lokala den konposizio eta gizakien arteko maila trofiko batek izango zuten aberastasuna erakusten du. Gris koloreko triangeluek Tausteko karbono eta nitrogenu konposizioa markatzen dute.

Tausteko maila trofikoaren desplazamendua jakin nahian ugaztun txikien isotopoak kontsideratu dira. Saguen batezbesteko balioa (‰ $18,4 \pm 0,9$ in $\delta^{13}\text{C}$ eta ‰ $8,7 \pm 0,7$ $\delta^{15}\text{N}$ -an) satitxuen balioak (‰ $-19,1 \pm 2,8$ $\delta^{13}\text{C}$ -an eta ‰ $12,4 \pm 2,2$ $\delta^{15}\text{N}$ -an) erakusten duten desplazamendua ‰ -1 -koa $\delta^{13}\text{C}$ eta ‰ 4 -koa $\delta^{15}\text{N}$. Kontsideratuz maila trofiko bateko desplazamendua, Tausteko biztanleriaren batezbestekoa ‰ -21 ± 1 $\delta^{13}\text{C}$ eta ‰ $11 \pm 0,5$ $\delta^{15}\text{N}$ izango zen. $\delta^{15}\text{N}$ balioetan aberaste oso altua ikus daiteke, janariak balio altuak ere baldin baditu, eskualdeko lehortasun eta erlartiboki gazitasun handiek izango litzatezke $\delta^{15}\text{N}$ aberastasubaren erantzuleak (Heaton, 1987). Izan ere, Tausteko hortzetan egindako analisisiek erakutsi duten $\log(\text{Ba/Sr}) = -2,35$ eta antzeko estrontzio kontzentrazioak eskualde lehorreko lurzoru eta itsasoko elikagai iturrietan aurkitzen dira (Guede et al., 2017; Burton eta Price, 1990). Tauste aztarnategia kostaldetik urrun kokatzen da, horrek itsasotik etorritako elikagai kantitate handiak jatearen aukera baztertzen du. Horrela Ba/Sr balioak eta $\delta^{15}\text{N}$ aberastasuna azaldu daiteke lekuko arroka amaren (igeltsu eta gatzak) eta Tauste eskualdeko ingurugiroko baldintzengatik. Saguen kolagenoaren erlazio isotopoak (abereekiko baliokide) eta batazbeste gizakien espero den dietaren errangoak, ur geza eta lehorreko jatorria duten elikagaiak jaten zituztela iradokitzen da. Elikaduran lehorreko eta ur gezako jatorria duten elikagaien proportzio eta %50-50 izango litzateke nahasketa eredu linear bat erabiliz.

Hala ere, ur gezako arrainen kontsumoa ez dago justifikatu ikuspuntu historiko ezta antropologikotik ere. Espainiako Erdi Aroko Islamiarren eguneroko elikaduraren buruzko islamiar testuek diote batez ere zerealak zirela elikaduraren oinarria: garia (*Tritium*), garagarra (*Hordeum vulgare*) eta zekalea (*Secalecereale*), hauekin batera C4 motatako landareak ere artatxikia (*Pennisetum*) eta basartoa adibidez

(*Sorghum*), baita barazkiak eta lekaleak, hala nola, garbantzuak (*Cicerarietinum*), dilistak (*Lensculinaris*), eta ilarrak (*Pisumsativum*), eskualdeka ezberdintasun batzuekin (García Sanchez, 1995; Salas-salvadó, 2006; Garcia Sanchez, 2002). Proteina jatorri nagusia haragia eta lekaleak ziren, eta proteina mota eta kantitatea aldakorra zen sexu eta egoera sozialaren arabera. Haragia, nagusiki, arkumeak eta oilaskoak ziren. Islamiar legeak arabera, txerria eta beste edozein animalia halal modua jarraitu gabe hiltzea, elikaduratik kanpo gelditzen ekartzen zuen. Jende apalak haragi gutxi jaten zuen eta erraiekin konformatzen ziren, merkeagoak zirelako. Lekaleak esaterako, babak, garbantzuak eta dilistak beste proteina jatorri ziren eta elikagai mediku gisa zeuden sailkatuak. Nahiz eta arraina balio dietatikoko elikagai ez kontsideratu, jende xumeak, eta batez ere kostalde eta ibai ondoak bizi zirenak, jaten zuten (Anderson, 2006).

Tauste biztanleriako $\delta^{15}\text{N}$ aberastasunaren beste interpretazio posiblea ongarriek landareetan duten eragina izan daiteke. Izan ere ongarrien erabilpena, Islamiarrek Iberiar Penintsulan sartutako nekazaritza metodo aurreratua izan zen (Glick, 2005). Beraz, ongarritua izan ziren zerealek %5 -eko aberastasuna erakutsiko dute $\delta^{15}\text{N}$ (Fraser et al., 2011). Ondorioz ongarritutako landareak jaten dituzten abereek ere $\delta^{15}\text{N}$ balio altuagoak erakutsiko dituzte. Ongarrien erabilera izan zela kontuan hartzen baldin bada ur gezako arraien proportzio dietaren %10 baino ez zen izango.

Tausteko biztanleriaren elikaduraren birreraiketa egitearen beste aspektu interesgarrietako bat sexu eta adinaren arabera isotopo konposizioen ezberdintasunak ikustea da. Estrontzio isotopoen konposizioen arabera T-32 emakumea hil aurretik urte batzuk lehenago

baino ez zen Taustera bueltatu, beraz konparaketa egiteko ez da kontuan hartu. Gizonezkoen batezbesteko balioak $\%15,5 \pm 1,0 \delta^{15}\text{N}$ eta $\% -19,2 \pm 0,31 \delta^{13}\text{C}$ dira. Emakumeen kasuan batezbesteko balioak $\%14,6 \pm 1,15 \delta^{15}\text{N}$ eta $\% -19,0 \pm 0,32 \delta^{13}\text{C}$. T-test aren bidez gizon eta emakumen $\delta^{15}\text{N}$ balioak konparatzen baldin baditugu, estadistikoki adierazgarriak diren ezberdintasunak daudela ikus daiteke (t_{18} , $p = 0,026$). Ezberdintasun hauek iradokitzen dute emakume eta gizonezkoen arteko ezberdintasunak animaliatik eratorritako proteina kantitatearen kontsumoan daudela, seguruenik lotuak sexu lan banaketarekin (Coope, 2010). Izan ere, idatziek Islamiar emakume eta gizonezkoen artean ezberdintasunak zeudela adierazten dute. Medikuen idatziek dietaren inguruko gomendioak ematen zituzten eta gomendio bereziak haurdun edo laktantzian zeuden emakumei (Garcia-Sanchez, 2006). Bi otordu eguneko ziren gomendatuak, baina lan egiten zuten gizonezkoek gosaria deritzonek otordu txikia ere egiten zuten. Aldiz emakumeek, etxeko egitekoetara mugatzen zirenez, elikagai gutxiago behar zuten (Shatzmiller, 1994). Hala ere, nitrogeno konposizioan ezberdintasunak bakarrik gizonezko helduetan aurkitzen ditugu (35-50 urte). Izan ere, gizon helduak kentzen baldin baditugu sexuen artean ez dugu ezberdintasun adierazgarriarik. Gizonezko helduak, gizonezko gazte eta adin guztietako emakumeekin alderatzean, $\delta^{15}\text{N}$ balio altuak erakusten dituzte. Gizartean ezberdintasun hauek markatuak dira jandako animalia proteina kantitatearengatik. Azkenik, $\delta^{15}\text{N}$ balio altuenak 3 urte baino gutxiagoko haurretan ikus daitezke, aldiz 4 urte baino nagusiagoak diren haurrek helduen bezalako balioak dituzte. Haur gazteenetan balio altuagoak agertzeak esnealdiaren efektuarekin lotzen da, markatuz amaren esnea edaten zutela nagusiki. Hala ere, kontuan izanik bitarte

kronologikoaren zabalera eta karbono datazioa kopuru txikia, ezin daiteke baztertu denboran zeharreko elikaduran aldaketak eman izana.

Ondorioak

VIII. eta X. mendeetan Islamiar eta Kristau erresumen arteko mugan kokatzen zen Tauste islamiar biztanleriaren paleodieta eta paleomugikortasun ikertzeko gizaki aztarna arkeologikotan isotopo seinaleak erabili dira. Oxigeno eta estrontzio isotopoen analisisien konbinaketak, gizabanako bertako eta kanpokoak direnak identifikatzea baimendu du. Nahiz eta Tauste al-Andalus-en ipar mugan kokatua egon gizabanako gehienak lekuko jatorria dute, eta hiru emakume eta bi gizon baino ez dira kanpotarrak. Kanpotarren jatorri geografiko finkatzea zaila da, antzeko estrontzio isotopo erlazioak beste eskualde askotan aurkitu daitezkeelako. Oxigeno isotopoen arabera, bi gizonak beroagoa den eskualdetik etorriko ahalko liriteke eta bi emakumeak aldiz, geografikoki menditsuagoa den eskualde batetik. T-24 emakumeak ere jatorri kanpotarra erakusten du estrontzio balioen arabera, geologikoki ezberdina den eskualde batetik etorriko zelarik. Biztanleria lokalaren artean T-32 emakumea dugu, zein Tausten jaioa den baina gaztetan alde egin zuen geologikoki ezberdina zen eskualde batera eta hil aurretik bueltatu zen.

Erdi Aroko Islamatar elikadura dagokionez, $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioen emaitzek sexu eta adinaren arabera ezberdintasunak zeudela islatuz gain, ingurugiro baldintzen eragina ere ikusi da. Tauste biztanleriaren $\delta^{15}\text{N}$ balio oso altuek ($\delta^{15}\text{N} = \text{‰}15,0$ batazbestez) normala baino altuagoak diren balioak markatzen ditu, zeinak azaldu daitezkeen (1) baldintza geologiko edo inguruneko baldintzengatik, (2) barazki,

zerealetan ongarrien efektuaregatik eta (3) ur gezako arrainak jateagatik. Arraiaren proportzioa dietan aldakorra da %50-%20 bitartean, ongarrien efektua handitzen doan heinean. Adierazgarriak diren ezberdintasunak ikus daitezke sexuaren arabera $\delta^{13}\text{C}$ eta $\delta^{15}\text{N}$ balioetan, elikadura ezberdinak markatuz, zeinak lan banaketarekin lotuak egon zitezkeen. Gizon eta emakumeen arteko elikadura ezberdintasun nabariena helduen artean dago, iradokiz gizon helduek Erdi Aroko islamiar gizartean ezberdin baloratuak zeudela eta animaliatik eratorritako proteina gehiago jaten zutela, emakume eta gazteekin alderatuz. Emakume zaharretako $\delta^{15}\text{N}$ balioak animalia proteina gutxiago jaten zutela markatzen du, elikadura behar txikiagoak izatearen ondorioz. Aldiz, 4 urte baino gutxiagoko haurretan $\delta^{15}\text{N}$ balio altuak lotua egon daitezke esnealdi efektuarekin.

V.Kapitulua:

Tauste aztarnategia-Traza elementuen ikerketa

“Gizaki hortzen esmalte eta dentinan analisiak inductiboki akoplatutako plasma iturridun masa-espektrometroari elkartutako laser ablazio-sistemaren (LA-ICP-MS) bidezko Tausteko Erdi Aroko Islamatar gizabanakoen dietaren ikerketa”

Microchemical Journal 2016, 130: 287–294

Laburpena

Tausteko (Ipar Espainia) Islamatar biztanleriko 23 hortzen esmalte eta dentinan elementu aztarnak analizatu dira VIII.-X. mendeetako osasun eta paleodieta ereduak ikertzeko. LA-ICP-MS teknika erabili da hortzen konposizio kimikoa determinatzeko. Lur arraro eta uranio eduki handia (1 N $\mu\text{g/g}$) erakusteagatik lurperatzearen ondoriozko alterazioak dituzten hortzak identifikatu eta baztertu dira eztabaidaren ataletik. Lagin kutsatuak batez ere esne hortzeria izan dira. Elementu aztarnak dentina eta esmaltean jokabide ezberdina erakusten dute, eta hauek ehunen konposizioarekin dute zerikusia. Bost gizabanakok berun kontzentrazio handiak (2 eta 30 $\mu\text{g/g}$) erakusten dituzte, eta balio altu hauek azaltzeak pozoitu zirela iradokitzen du. Denbora tarte kontsideratuz, berunaren ondoriozko pozoitzea lan-jarduerarekin lotu daiteke. Gizabanako gazte eta helduek zein gizon eta emakumeen artean elikadura ezberdintasunak daudela antzeman da, seguruenik lotuak sexu lan banaketa edo estatus sozialari. Tausteko biztanleriaren paleodieta ereduak Islamatar komunitatearen inguruko informazioa ematen digu.

Sarrera

Metodo analitiko makroskopiko eta mikroskopikoen garapenak hezur eta hortzetan mugikortasun eta dieta ikerketak egitea ahalbidetu dute. Azken hamarkadetan induktiboki akoplatutako plasma iturridun masa espektrometroari elkartutako laser ablazio-sistemaren (LA-ICP-MS) erabilerak lagin solidoetan analisiak zuzenean egitea ahalbideratu du, izan ere lagin kantitate txikia nahikoa da eta beraz suntsitzen den lagin kantitatea oso txikia izaten da (Kang et al., 2004; Speakman eta Neff, 2005). Lagina ia osorik mantentzea ezinbestekoa da, batez ere lagin kopurua urria denean eta hau kontserbatzea garrantzitsua denean.

LA-ICP-MS teknikak laginean (hezurrean edota hortzean) aztarna elementuen banaketa ematen digu. Hezur eta hortzen konposizioan faktore ezberdinek eragin dezakete, batez ere lurperatutako laginetan. Dietaz gain birmoldaketa prozesuetan beste faktore batzuk hartu dezakete parte. Hezurak, batez ere hidroxiapatitoz daude osatuak eta gizabanakoaren bizitzan zehar etengabe birmoldatzen dira. Bestalde hortzak, ehun ezberdinez osatuak daude: barnealdeko mamia, dentina eta kanpoaldeko esmaltea. Dentina askoz leunagoa da, gutxiago mineralizatutako egitura erakusten du eta birmoldatu daiteke; esmaltea aldiz, giza gorputzeko materialik gogorrena da eta haurtzaroan behin sortzen denean ez du bere konposizioa aldatzen, horrela, gizabanakoaren bizitzako hasierako etaparen konposaketa erakusten duelarik (Hillson, 1996; Parfitt, 1983; Dolphin eta Goodman, 200; Humphrey et al., 2008; Richards et al., 2008). Arkeologiaren esparruan, esmaltea egokiagoa da konposizio kimikoa determinatzeko diagenesi eta inguruneko baldintzak gutxiago eragiten diotelako (Khon eta Cerling, 2002; Trueman eta Tuross, 2002).

Lagin arkeologikoetan, lurperatze baldintzak mineral konposizioan aldaketak eragin ditzakete, ingurunearekin ioi elkartrukea emanik (Malleson, 1990). Diagenesiaren eraginak hezur eta hortzen konposizio kimikoaren interpretazioan garrantzia du. Gizakien gorpuzkiei lotutako lurzoru analisiak dira diagenesia ebaluatzeako modu egokiena. Lurzoruaren konposizioa ezezaguna denean, diagenesiaren eragina beste modu batzuetan ebaluatu daiteke, hezur eta hortzen lur arraro eta uranio kantitatearekin, adibidez (Lambert et al., 2003; Zlateva et al., 2003; Carvalho et al., 2004). Diagenesia arazoa ez denean, dentina eta esmaltearen analisi kimikoa zuzenean lotu daiteke dietarekin. Horrela elementu batzuk, esaterako sodioa, magnesioa, zink, estrontzioa, barioa eta beruna kasu, zuzenean lotu daitezke janari kontsumoarekin (Curzon eta Cutress, 1983; Grupe 1998; Sandford eta Weaver, 2000; Djingova et al., 2004). Elementu anitzeko hurbilketa batean, barioa, estrontzioa, manganesoa eta magnesioa barazkietan daude nagusiki lotuak, aldiz zinka eta kobrea haragian oinarritutako dieta baten adierazle dira. Gainera, hortzen konposizio kimikoak epe luze batean metal astunen eraginpean jartzearen adierazle dira eta gizabanako batek metal toxikoen eraginpean izanaren inguruko informazio eman dezake (adibidez Cd, Pb) (Chew et al., 2000; Tvinnereim et al., 2000).

Ikerketa honek Tauste Erdi Aroko Islamatar biztanleriaren dieta eredua determinatzeko gizakien hortzen konposizio kimikoa aztertzen du. Laginak nekropoli Islamatarrekoak dira, izan ere gorputzak Mekara begira daude. Nekropolia, Islamatarrak Tausten egon ziren ebidentzia bakarra da. Gizakien gorpuzkiak analizatu dira Islamatar biztanleriaren beste arrastorik ez aurkitzean, esaterako herri Islamatarra nekropolia lotua edo idatzizko iturriak. Dieta ikuspuntu batetik hasita Iberiar

Penintsulan Islamatar garaian elikadura, bizitza eta mugikortasunari buruzko informazioa jaso dezakegu.

Metodo experimentalak

Materiala eta lagin prestaketa

Tausteko nekropoli islamatarreko 23 gizaki hortz analizatu dira. Gizabanakoak sexu eta adinaren arabera bereizi dira. Horrela 13 gizonak dira, 7 emakumeak eta 3 identifikatu gabeko gizabanakoak (Gutierrez eta Pina, 2011). Adinaren arabera: 3 haur (12 urte baino gazteagoak), 3 nerabe (12-17 urte), 5 heldu gazteak (18-34 urte), 10 heldu (35-50 urte) eta nagusia den bakarra (50 urte baino gehiago).

Lagin gehienak atzeko haginak dira, betortz bat izan ezik. Gizabanako bakoitzeko hortz baten dentina eta esmaltearen konposizioa analizatu da. Analisiak egin aurretik hortzak 10 minutuz ur distalatuarekin bainu ultrasonikoaren bidez hainbat alditan garbitu dira, eta ehorzketaren ondoriozko ezpurutasunak kentzeko ur ultrapuruarekin pasatu dira. Ondoren hortzak luzetara moztu dira diamantezko disko batekin eta epoxy erretxinan muntatu dira hortzaren egitura guztiak ikusgai jarri eta azkenik pulitu dira. Bakarrik T-12 lagina xafla mehean leundu da.

Tresneria

Analisiak induktiboki akoplatutako plasma iturridun masa espektrometroari elkartutako laser ablazio-sistemaren (LA-ICP-MS) bidez egin dira Thermo x7 XSeries2 –ra eguneratua eta aklopatua Xt interfaze unitatedun UP213 laser ablazio-sistemari. Ekipamendu sentikortasuna

hobetzeko, bigarren huts bomba bat erabili da sistemaren interfasean. Laser ablazio-sistema NewWave Nd:YAG izan da eta 213 nm uhinarekin lan egin da. LA-ICP-MS -aren kalibrazioa NIST SRM 612 beira erreferentziaren bidez lortu da (Jochum et al., 2011; Günther et al., 2001; Herwartz et al., 2013; Kowal-Linka et al., 2014; Kowal-Linka et al., 2015). Neurketak 100 μm tamainako eremuan egin dira eta puntu hauen arteko distantzia 300 μm da. Neurketa bat bukatu eta beste bat hasten deneko denbora tarte 15 s dira. Laser ablazioa 100 μm -tako diametroa duen, 4,5 J/cm^2 azkartasuna eta 10 Hz-ko errepikapen tasadun laserrarekin egin da. 1. Taulak LA-ICP-MS neurketen funtzionamendu-parametroak erakusten ditu.

Analizatutako elementuak Na, Mg, Al, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Ba, Pb, Th, U eta lur arraroak (La-Lu) izan dira. Datu bilketa *rapid peak-hopping* (5–30 ms) bidez egin da (1.Taula) eta aukeratutako analito bakoitzeko isotopoen arteko denbora tarte 60 s izan da. Analisisiko hasierako 30 segundutan hondoko seinalea bildu da. Laserra 60 segunduz erabili da eta hauetako 30 seinalea integratzeko erabili dira. Datuen murrizketa lortzeko, Iolite 3 datuak prozesatzeko softwarea eta masa espektrometroaren datuak erabili dira (Paton et al., 2011; Paul et al., 2012). Gasaren hondoko seinalea erabili da analitoaren datuen hondoa kentzeko. Elementuen kontzentrazioa, Iolite 3 softwarearekin kalkulatu da zuzenean, baita definitu daiteke intentsitate integrazio dagoen puntuko hondoaren eta laser bidez analizatutako laginarekin. ^{43}Ca barne estandar bezala erabili da ablazioaren efizientzia aldakuntza ikusteko, zein eraginda dagoen analizatutako masaren aldakuntzarekin. Barne estandarra matrizearen efektu biderkatzailea zuzentzeko eta garrantzitsuagoa dena, analizatutako hortzen bolumenak duten desberdintasuna zuzentzeko.

Kaltzioaren kontzentrazioa hidroxiapatito biogenikoaren estekiometriaren bidez gain hartu da. Aurreikusitako kaltzio edukia 252 mg/g izan da dentinaren kasuan eta 360 mg/g esmaltean (Kohn et al., 1999).

1.Taula. Laser ablazio eta ICP-MS aren lan baldintzak.

ICP-MS

Q-ICP-MS	Thermo Fisher Xseries-II
<i>Forward Power</i>	1400 W
Gas Fluxuak	
Hozgarria (plasma)	Ar: 14 L/min
Laguntzailea	Ar: 0,5 L/min
Garraio gasa	He: 0,8 L/min
<i>Make up</i> gasa	Ar: 0,9 L/min
Analisi protokoloa	
Eskaneatze modua	<i>Peak hopping</i> , puntu 1 gailurreko
Eskurapen modua	TRA (<i>Time Resolved Analysis</i>)
Analisiaren iraupena	90 s (30 s hondoko seinalea, 60 s seinalea)
Itxaron denbora:	
⁴³ Ca	5 ms
²³ Na, ²⁴ Mg, ⁸⁸ Sr, ¹³⁷ Ba	10 ms
²⁷ Al, ⁴⁵ Sc, ⁴⁷ Ti, ⁵¹ V, ⁵² Cr, ⁵⁵ Mn, ⁵⁶ Fe, ⁵⁹ Co, ⁶⁰ Ni, ⁶⁵ Cu, ⁶⁶ Zn, ⁸⁵ Rb, ⁸⁹ Y, ¹³⁹ La, ¹⁴⁰ Ce, ¹⁴¹ Pr, ¹⁴⁶ Nd, ¹⁴⁷ Sm, ¹⁵³ Eu, ¹⁵⁷ Gd, ¹⁵⁹ Tb, ¹⁶³ Dy, ¹⁶⁵ Ho, ¹⁶⁶ Er, ¹⁶⁹ Tm, ¹⁷² Yb, ¹⁷⁵ Lu, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U	30 ms

LA

Modelo eta fabrikatzailearen izena	UP213
Uhin-luzeera	213nm
LA sistema	New Wave, Nd:Yag
Laser energia	0,353 mJ
Laser frekuentzia	10Hz
Analisi puntuen tamaina	100 µm
Batazbesteko fluentzia	4,5 J/zm ²

Analizatutako matrizearen (Durango apatitua) batzbestekoak eta desbideratze estandarrak % 2-6-ko erreproduzigarritasun analitikoa markatzen du (2. Taula). Gainera analisisien zehaztasuna Durango apatitua eta ICP-MS bidez egindako determinazioek adieraten dute (normalean <5–10%; ikusi 2. Taula). Zehaztasun analitikoa Trotter eta Eggins (2006) lanean emandakoaren antzeko da.

2.Taula. Analizatutako isotope eta elementuak, NIST 612 balioak eta Durango apatitua emaitzak.

Elementua ($\mu\text{g/g}^*/\text{wt.}\%$)	Isotopo (amu)	NIST 612	Durango	Desbideratze estandarra (n=43)	Detekzio muga
Na ₂ O*	23	13,70	1059,23	52,96	4,87
Mg	24	68,00	138,25	3,71	1,94
Al ₂ O ₃ *	27	2,03	nd	Nd	4,79
Sc	45	39,90	0,70	0,32	0,49
Ti	49	44,00	62,92	6,70	2,83
V	51	38,80	40,26	1,79	0,43
Cr	52	36,40	nd	Nd	0,57
Mn	55	38,70	72,62	2,43	0,38
Fe	57	51,00	251,00	30,37	0,99
Co	60	35,50	0,07	0,02	0,08
Ni	60	38,80	1,84	0,75	1,52
Cu	63	37,80	0,65	0,06	0,89
Zn	66	39,10	0,52	0,36	0,35
Rb	85	31,40	0,04	0,01	0,07
Sr	86	78,40	461,20	11,23	0,21
Y	89	38,30	560,89	28,15	0,20
Ba	137	39,30	1,49	0,13	0,05
La	139	36,00	3741,09	161,17	1,01
Ce	140	38,40	4096,70	97,48	1,15
Pr	141	37,90	311,24	8,85	0,09
Nd	146	35,50	1024,51	40,32	0,35
Sm	147	37,70	141,83	6,47	0,06
Eu	153	35,60	14,69	0,57	0,01
Gd	158	37,30	126,66	7,22	0,06
Tb	159	37,60	15,37	0,80	0,01
Dy	163	35,50	90,35	4,88	0,04
Ho	165	38,30	17,82	0,98	0,01
Er	166	38,00	48,75	2,84	0,02
Tm	169	36,80	6,17	0,35	0,01
Yb	174	39,20	34,21	1,95	0,02
Lu	175	37,00	4,33	0,26	0,00
Pb	208	38,57	0,47	0,02	0,01
Th	232	37,79	196,41	12,26	0,06
U	238	37,38	7,98	0,20	0,00

Longerich et al., (1996) lanean oinarritu da elementu eta analisi puntu bakoitzeko detekzio mugak (LOD) eta S1 dokumentu osagarrian daude ikusgai. Detekzio muga hauek kalkulatzeko erabilitako ekuazioa ondorengo da:

$$OD = \frac{3\sigma_{BCG}}{S_{XY}} \times \sqrt{\frac{1}{N_{BCG}} + \frac{1}{N_{PK}}}$$

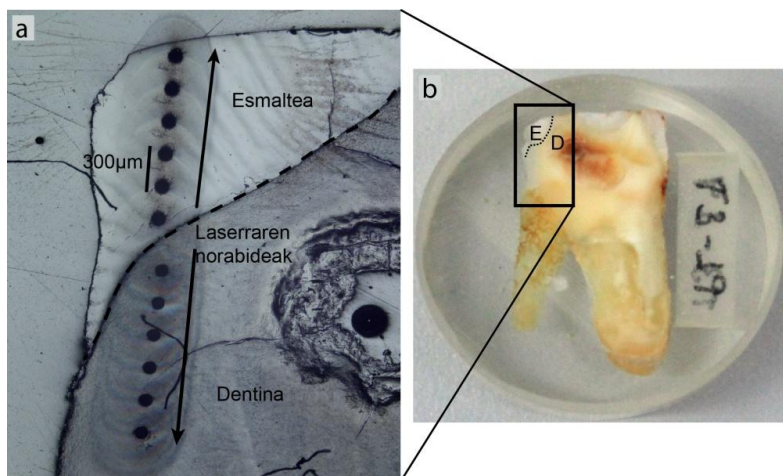
non σ_{BCG} ablazio aurreko hondoaren identifikaziorako analisisien erreplikien desbiratze estandarra den; NBCG eta NPK hondo eta seinale tontorren integraziorako erabilitako erreplika determinazioen kopurua, hurrenez hurren; S cps unitateko normalizatutako sentikortasunaren erreferentzia materialaren kontzentrazioa; y ablazioa errentagarritasun erlatiboaren erreferentzia materiala, zenbaketa intentsitatea neurketa eta estandar integralaren kontzentrazioa ezagunaren arabera zehaztua.

Analisiak dentinan eta esmaltean egin dira. Hortzen konposizioa ppm edo $\mu\text{g/g}$ kontzentrazioetan eman dira. Analisiak esmalte eta dentina materialetan lerrokatutako dauden puntuak izan dira (1. Irudia).

Ablazioa egin aurretik, esmalte eta dentinaren aztertu dira ekortze mikroskopio elektroniko baten bidez (JEOL JSM-6400), erretrodispersioko deteaktagailu batekin hornitua eta 15kV –rekin dabilela. Laginak karbonozko kapa fin batez estaliak dira. Analisiak Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU), Ikerkuntzarako Zerbitzu Orokorretako (SGIker) Materiala eta Azalerako unitatean egin dira.

Hortzetako ehunen korrelazio matrizea egin da, hortzeko edukiaren ezbedintasunak ikusi ahal izateko. Datuak SPSS v.20 softwerra erabiliz aztertu dira (Gizarte Zientzietako Estatistika paketea). Lagin talde ezberdinak determinatu dira Ikasle T-test erabiliz. Estadistika

esanguratsua $p < 0.05$ denean finkatu da. Osagai nagusien analisi multibariantea egin da hortz laginen arteko eta hortzetako ehunen arteko diskriminazioa egiterako garaian.

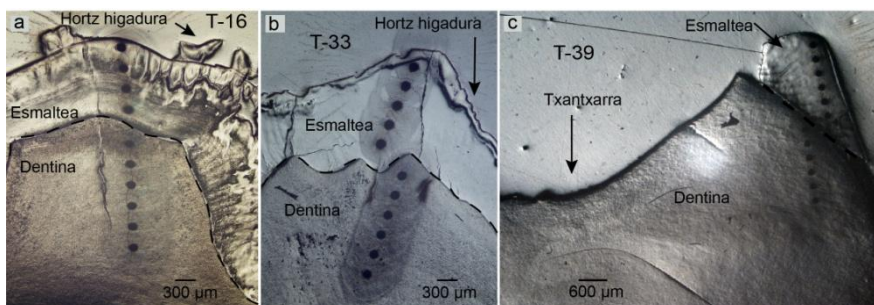


1. Irudia. Hortzaren sekzio analisisien kokapena erakutsiz: (a) Mikroargazkia non LA-ICP-MS laser puntuen kokapena erakusten den. Esmaltean eta dentinan azaltzen diren puntu ilunak laser ablazio puntuak dira. (b) Analizaturiko hortzetako baten argazkia, esmalte (E) eta dentina (D) arteko muga islatuz. Karratuak analizaturiko eremua mugatzen du.

Emaitzak eta Eztaibada

Lur arraro eta uranio edukia diagenesi aldaketan markatzaile kontsideratzen dira. Lurperatzean zehar uranio eta lur arraroak bioapatitoko OH eta Ca ordezkatzeko dute (Kohn et al., 1999; Kolodny et al., 1996; Reynard et al., 1999; Trueman, 2004). Diagenetikoki aldatu gabe dagoen gaur egungo hortzak lur arraroen eta uranio edukia $1 \mu\text{g/g}$ baino baxuagoa erakusten du. T-16, T-33, T-34 eta T-39 laginek lur arraroen eta uranio edukia $1 \mu\text{g/g}$ baino kontzentrazio altuagoak erakusten dituzte, zeinak eztaibadan ez diren erabili. Bakarrik T-16 laginaren esmalte eta dentinak erakusten ditu lur arraroen eta uranio

eduki handiak, aldiz T-33, T-34, T-39 eta T-40 uranioa bakarrik erakusten ditu balio altuak. T-16, T-39 eta T-40 laginak esne-hortzak dira eta, T-34 eta T-39 esmalteak kariesak eta erosioaren seinale diren aztarnak erakusten dituzte (2. Irudia). Esne-hortzen lur arraroen eta uranio eduki altuek erakusten dute, haurren hortzen paleoelikadura ikerketetarako baztertu behar direla.



2. Irudia. Hortzen mikroargazkiak erosioaren aztarnak (a, b) eta kariesak (c) erakutsiz.

3.Taulak laburtzen ditu Tausteko gizabanakoen hortzen edukien batez bestekoa. Taula honetan eztabaidarako baztertu diren hortzak ere azaltzen dira. Dentina kuantifikatu diren elementuak Na, Mg, Al, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Rb, Sr, Ba eta Pb dira, esmaltean aldiz Na, Mg, Sc, Ti, Mn, Fe, Zn, Rb, Sr, Ba eta Pb erakutsi dute kuantifikazio mugatik gorako edukia. Elementuen eduki eta konposizio kimikoaren ezberdintasunak, esmalte eta dentina egitura eta konposizioan ezberdinak izatean datza. Esmaltearen % 96 kaltzio hidroxiapatitoz osatua dago, % 0,5 materia organikoz eta urez, dentina aldiz %70 hidroxiapatito inorganikoz, % 20 materia organikoz (batez ere kolagenoa) eta %10 urez (Cate, 1998). Esmalteak egitura kristalino gogorra du elementuen migrazio eragotziz, dentina porotsuagoa eta iragazkorragoa da elementuen mugikortasuna eta birmoldaketa kimikoa erraztuz (Castro

et al., 2010). Elementu gehienek esmalte eta dentinan $1 \mu\text{g/g}$ baino eduki baxuagoa erakusten dute, lur arraro, Th eta U ere kontuan hartuz. $1 \mu\text{g/g}$ baino gehiagoko edukia erakusten duten elementuen artean Fe, Pb eta Ba ditugu, batzbestez $2\text{-}5 \mu\text{g/g}$ –ko edukiarekin, Ti eta Zn $40\text{-}70 \mu\text{g/g}$, eta Na eta Mg 3300 eta $5800 \mu\text{g/g}$ arteko balioak erakusten dituzte. Dentina esmaltearekin konparatzean Mg, Ti eta Zn edukietan pixkat aberastua azaltzen da, eta Sr, Ba eta Pb oso aberastuak, aldiz Na eta Fe agortuak daudela ikus daiteke.

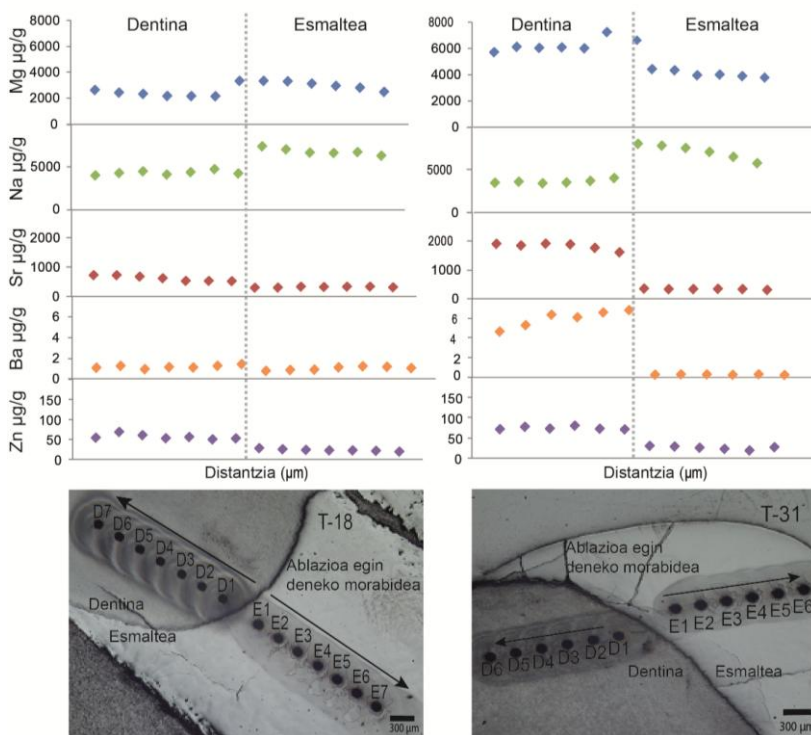
T-12 laginaren analisisian zehar dentina laserrak guztiz zulatu zuen iritsiz xafla meheraino, beraz azaltzen diren kontzentrazioak ez dira funtsean hortzarenak, baizik eta hortz eta xafla mehearen konposizioarenak. Nola eta elementu gehienetan eduki anomaloak erakusten dituen, eztabaidatik kanpo utzi da T-12 lagina.

Analizatutako elementuetatik bakarrik elementu biofuntzional bezala ezagutzen diren elementuak aukeratu dira, hortzen ehunetan detekzio mugaren gainetik aurkitzen direlako. Na, Mg, Sr, Zn, Fe, Ba dira elementu biofuntzional bezala kontsideratzen dira giza gorputzaren funtzio fisiologikoak mantentzeko ezinbestekoak direlako (Fraga, 2005). Gainera, elementu biofuntzionalak paleoelikadura eredu jarraipenean aplikazioak dituzte. 3. Irudian elementu biofuntzionalen konparaketa ikus daiteke. Ibilbide linealek esmalte eta dentinaren artean zonazio nabarmena erakusten dute. Orokorrean, dentinak esmaltearekiko Zn, Ba eta Sr eduki baxuagoak erakusten ditu eta Na altuagoak. Mg ausazko jokaera erakusten du laginaren arabera. Kasu gehienetan (laginen % 61-an) Mg edukia altuagoa da esmaltean eta aldiz %39-an baxuagoa. Tendentzia aldakor honek adin eta sexuaren araberako erlaziorik ez du, eta zergatia ez dago argi oraindik.

3. Taula. Hortzeko ehumann elementuen kontzentrazioaren batzbestekoa ($\mu\text{g/g}$) determinatua LA-ICP-MS bidez.

Lagina	Ehuna	n	Sexua	Adina	Na	Mg	Al	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Ba	Pb	U
T9	Esmaltea	4	E	Nagusia	5097,0	3611,8	<16,8*	<1,6*	50,1	<1,5*	<1,1*	<1,4*	<1,6*	<0,2*	<3,3*	<1,6*	23,1	<0,2*	338,8	<0,03*	1,6	0,6	<0,004*
T11	Esmaltea	3	G	Heldua	4856,7	3135,7	<11,9*	1,1	53,3	<1,2*	<1,0*	1,5	4,1	<0,1*	<1,9*	<1,6*	87,7	<0,1*	177,1	<0,04*	1,1	1,8	<0,001*
T12	Esmaltea	6	G	Heldua	5433,0	3364,0	<4,3*	0,7	77,5	<0,4*	<0,6*	0,6	2,7	<0,1*	1,0	<1,0*	66,7	0,1	315,5	<0,01*	1,3	5,9	<0,001
T15	Esmaltea	6	E	Heldua	5451,7	3689,7	<6,8*	<0,8*	70,8	<0,5*	<10*	0,6	2,1	<0,1*	<1,6*	<1,4*	25,4	<0,1*	350,5	<0,02*	0,6	0,1	<0,001*
T16	Esmaltea	13	Zeha	Umea	6411,9	3035,5	<4,6*	0,5	52,6	0,6	0,7	1,7	73,8	0,3	1,7	2,8	58,5	<0,1*	952,4	0,2	9,5	1,5	14,2
T17	Esmaltea	5	G	Heldua	5403,4	3578,4	<15,1*	1,1	56,0	<1,2*	<0,7*	<1,1*	<2,2*	<0,2*	<5,4*	<2,6*	24,1	<0,1*	277,4	<0,03*	0,6	1,2	<0,001*
T19	Esmaltea	6	E	Heldua	5651,3	3981,3	<9,5*	<1,3*	64,9	<0,9*	<1,1*	<0,8*	40	<0,2*	4,1	<2,0*	24,9	0,1	137,1	<0,03*	1,1	0,1	<0,01*
T24	Esmaltea	6	E	Gazte heldua	4221,0	2187,8	<4,9*	0,6	61,5	<0,4*	<0,5*	1,1	4,5	<0,1*	<1,1*	<0,9*	307,5	0,1	300,4	<0,01*	0,5	0,2	<0,002*
T26	Esmaltea	6	G	Gazte heldua	5597,2	3149,7	<7,1*	0,8	65,2	<0,5*	<0,9*	0,7	1,8	0,1	<2,1*	<2,1*	39,8	<0,1*	337,9	<0,02*	0,2	0,2	<0,001*
T28	Esmaltea	6	G	Gaztea	5648,3	3536,0	<8,1*	1,2	72,4	<0,6*	<0,8*	0,4	1,9	<0,1*	<2,9*	0,5	21,4	<0,2*	317,9	<0,04*	0,5	0,3	<0,001*
T30	Esmaltea	6	E	Heldua	5878,3	3442,2	<5,7*	1,0	70,0	<0,4*	<0,5*	0,5	1,5	0,1	1,7	<1,1*	20,4	0,1	320,3	<0,02*	0,6	15,7	<0,001*
T31	Esmaltea	7	E	Gaztea	6710,0	3015,1	<5,3*	<0,4*	59,2	<0,4*	<0,6*	1,1*	3,7	<0,1*	<1,7*	<1,0*	46,6	0,1	332,6	<0,01*	0,4	0,1	<0,001*
T33	Esmaltea	5	Zeha	Umea	5641,2	3900,8	<3,9	<0,3*	65,9	0,5	<0,5*	0,8	3,4	<0,1*	<1,3*	<0,8*	31,9	<0,1*	382,6	<0,01*	2,2	0,3	0,9
T34	Esmaltea	7	G	Gaztea	6418,6	3944,6	<5,2*	0,7	64,4	<0,4*	<0,5*	<0,4*	1,6	0,1	<2,4*	0,5	21,9	0,1	286,2	<0,02*	2,2	6,8	<0,003*
T39	Esmaltea	6	G	Heldua	5901,5	3121,2	<5,8*	<0,5*	47,9	<0,5*	<0,6*	0,6	2,9	<0,1*	<1,6*	<1,0*	56,4	0,1	316,1	0,1	0,5	0,2	<0,001*
T13	Esmaltea	6	G	Heldua	5831,5	3359,7	<6,0*	0,5	66,3	<0,5*	<0,8*	2,2	1,8	0,1	<1,8*	<1,0*	23,9	<0,1*	392,1	<0,02*	2,0	0,2	0,3
T18	Esmaltea	6	G	Gazte heldua	6750,0	4002,0	<5,3*	0,3	59,6	<0,3*	<0,5*	0,4	1,2	<0,1*	<1,5*	<0,8*	25,9	<0,1*	360,8	<0,01*	1,2	0,3	<0,01*
T27	Esmaltea	5	G?	Gaztea	4607,4	2820,2	<11*	0,9	57,6	<0,7*	<1,3*	0,8	5,5	0,1	<2,1*	<1,3*	57,7	<0,1*	282,1	<0,02*	0,8	0,8	<0,001*
T32	Esmaltea	6	E	Heldua	6022,2	3604,3	<6,7*	1,1	65,4	<0,6*	<0,9*	1,1	1,9	<0,1*	<2,3*	<1,2*	23,8	0,1	410,5	<0,02*	1,4	0,1	<0,001*
T40	Esmaltea	5	Zeha	Umea	5316,0	3091,2	<3,9*	<0,3*	59,1	<0,3*	<0,5*	0,7	2,3	<0,1*	<1,7*	<0,8*	40,2	<0,1*	248,4	<0,01*	0,8	0,5	0,1
T41	Esmaltea	6	G	Gazte heldua	6038,0	3119,5	<3,2*	<0,4*	56,4	<0,3*	<0,4*	<0,3*	2,8	<0,1*	<1,0*	<0,8*	30,0	0,1	288,7	<0,01*	0,3	0,1	<0,001*
T42	Esmaltea	7	G	Heldua	6189,7	3280,3	<4,8*	<0,4*	60,0	<0,4*	<0,6*	<0,3*	2,4	<0,1*	<1,5*	<1,0*	24,8	<0,1*	387,3	<0,01*	0,4	0,5	<0,001*
T44	Esmaltea	7	G	Gazte heldua	6596,7	3264,0	<5,3*	<0,3*	66,6	<0,4*	<0,5*	<0,3*	4,9	<0,1*	<1,6*	<1,0*	28,4	0,1	391,8	<0,01*	0,9	0,1	<0,001*

Elementuen edukia $\mu\text{g/g}$ - tan. G: gizon; E: emakume; Zeha: Zehaztugabea. *Elementuaren edukia izatera ez da iritsi eta detekzio muga eman da.



3.Irudia. Bi hortz adierazgarriren ablazio laserraren puntuak element biofuntzionalen edukien aldakuntza ehunen artean eta ehun berean zehar. Hortzen mikroargazkiak ablazio laserra analisisa egindako puntuen posizio eta norabidea erakutsiz.

Elementu biofuntzionalen kontzentrazioa elikagai eta beraz gizakien dietarekin erlazionatuta daude, paleoelikadura ereduak finkatzen laguntzen dutelarik. Zn edukiaren batezbestekoa Tausteko Islamatar hortzetan baxua da: $72 \pm 14 \mu\text{g/g}$ dentinan eta $28 \pm 13 \mu\text{g/g}$ esmaltean, honek Zn elikadura urritasuna izan ahal zela adierazten du. Haurren hortzek Zn kontzentrazioak $<90 \mu\text{g/g}$ -koak izateak Zn-aren biodisponibilitatea mugan aurkitzeagatik izan daiteke (Tvinnereim et al., 1999).

T-24 emakume helduaren esmalteak Zn ezohizko eduki altua erakusten du ($308 \mu\text{g/g}$), aldiz Zn edukia dentinan batezbesteko balioen antzekoa da. Zn eduki altuak itsas elikagaitan aberatsa den elikadura markatzen du (arrain edota moluskuak kasu) eta Sr isotopoen arabera jatorri ez lokala markatzen du (Guede et al., 2016). Batezbesteko Fe edukia dentina eta esmaltean antzekoa da, $2,4 \pm 0,8 \mu\text{g/g}$ eta $2,8 \pm 1,4 \mu\text{g/g}$, hurrenez hurren. Alabaina emakumeek gizonezkoek baino Fe eduki gutxiago erakusten dute dentinan ($2,2 \pm 0,6 \mu\text{g/g}$ eta $2,7 \pm 0,9 \mu\text{g/g}$, hurrenez hurren). Emakumeetan burdin kontzentrazio baxuagoak aurkitzea hilerokoan zehar ematen den odol galeraren ondorioa izan daiteke (Tanaka et al., 2004). Esmaltean Na eduki altuagoak dira ($5813 \pm 886 \mu\text{g/g}$) dentinan baino ($3584 \pm 666 \mu\text{g/g}$), aldiz Mg batezbesteko edukia baxuagoa da esmaltean ($3394 \pm 510 \mu\text{g/g}$) dentinan baino ($4411 \pm 2435 \mu\text{g/g}$). Antzeko Mg edukiak dituzte gizaki modernoek hortzek, Na edukiak aldiz bi aldiz baxuagoak dira Tausteko gizakietan (Cakir et al., 2011; Teruel et al., 2015).

Lau laginek (T-30, T-34, T-17 eta T-11) berunean ezohizko eduki altuak erakusten dituzte (3. Taula). Horrela kontzentrazio altuek posoidura dela iradokitzen dute, zeina modu jarrai batean jatorri antropogenikoko berunarekin kontaktuan egotearekin lotu daitekeen. Izan ere Erdi Aroan, Islamatar ontzigileek kristalezko berun zeramikak sartu zituzten Espainia Islamatarrean (Al-Andalus) eta Hispaniar-Morisko estiloko zeramika garatu zen (Mery, 2006). Kristalezko berun zeramikaren hainbat adibide aurkitzen ditugu hurbil dagoen Islamatarra den Tudela herrian (Al-Tutuli) (Zuluaga et al., 2012). Horrela berunean eduki altuak erakusten dituzten bost gizabanakoen zergatia, beruna zuten zeramikak egitearen posoidurarekin lotu daiteke.

Dentina eta esmalteko Na, Mg, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Rb, Sr, Ba eta Pb edukien korrelazio analisia egin da beraien artean erlaziorik dagoen antzemateko. 4. Taulak esmalte eta dentinaren arteko koefizienteen korrelazio adierazgarria dagoela markatzen du ($p < 0,05$). Gizabanakoaren bizitzan zehar dentinaren konposizio kimikoa birmoldatzen dela kontuan hartzen baldin badugu (Parfitt, 1983), elementuen kontzentrazioen arteko korrelazioak Tausteko biztanleriaren arteko elikadura islatuko lukete. Mg, Zn, Na, Ba eta Sr kontzentrazioen artean korrelazio positibo adierazgarria erakusten dute dentinek ($p < 0,01$). Esmaltean aldiz Na, Mg, Sr, Ba, Mn, Fe, Co eta Zn kontzentrazioen artean korrelazio positibo adierazgarria erakusten dute ($p < 0,01$). Hortzen kimikan ezberdintasun hauek izatea gizabanakoaren bizitzako bi momentu ezberdin erakusten dituelako izan daiteke. Esmaltea haurtzaroan zeharreko dietaren erregistro ematen digu, aldiz dentina gizabanakoaren azken urteen dieta.

Osagai nagusien azterketak (edo aldagai nagusiak) aldagai berriak definitu ditu jatorrizko aldagai konbinazio lineal bezala datuen bariantza ezagutzeko eta laginen taldekatzea kontuan ez hartuz (gainbegiratze gabeko analisiak). Aldagai nagusien aurretik ebaluatutako aldagai eta 17 hortzen (3 haur eta diagenetikoki modifikatuta 5 lagin baztertuz) analisiak egin dira, kontuan izanik ondorengo elementu biofuntzionalak: Mg, Zn, Na, Ba, Sr, Fe, eta Cu gizabanakoen arteko elikadura ereduak desberdintzeko. SPSS pakete programako bikote aukera baztertutako kasuen arabera nahasketa balioak baztertu dira. Dentina eta esmalteak bizitzako garai ezberdinak erregistratzen dituenaz, datu kimikoak ehunaren arabera sailkatu dira.

4.Taula. Esmalte (goi eskuman, urdin argiko laukiak) eta dentinako (esker behealdean, lauki zuriak) element kimikoen korelazio koefizienteak.

	Na	Mg	Al	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Ba
Na		0,527** (104)		-0,484** (29)					-0,669** (47)			-0,368** (99)		0,494** (99)		
Mg	0,556** (102)								-0,561** (47)			-0,390** (99)	0,589*(16)			0,292** (99)
Al																
Sc	-0,309** (98)	-0,419** (98)														
Ti	0,750** (102)	0,304** (102)														
V	-0,266*(67)	-0,279*(67)	-0,643*(10)													
Cr	-0,724** (27)	-0,503** (27)			-0,732** (27)	0,647** (24)										
Mn							-0,391*(27)									0,789** (99)
Fe					-0,226*(102)							0,667** (47)		-0,485** (47)		
Co	-0,464** (84)				-0,447** (84)	-0,438** (59)			0,309** (84)			0,990** (5)				
Cu						0,362*(37)										
Zn		0,270** (102)	0,698** (16)		-0,208*(102)	-0,344** (67)	-0,548** (27)							-0,250*(99)		
Rb		0,346*(40)							-0,489** (40)	0,682** (15)				-0,814** (16)		
Sr	-0,420** (102)	-0,870** (102)		0,243*(98)	-0,318** (102)	0,530** (67)	0,616** (27)					-0,249*(102)	-0,542** (40)			0,207*(99)
Y	0,406** (47)	0,649** (47)						-0,432** (43)						-0,627** (47)		
Ba	-0,573** (102)	-0,820** (102)		0,507** (98)	-0,265** (102)	0,315** (67)	0,430*(27)					-0,332** (102)	-0,375*(40)	0,736** (102)	-0,420** (102)	

** Korrelazio koefizientearen esangura 0,01

* Korrelazio koefizientearen esangura 0,05

Esmaltearentzako ez dira egin osagai nagusien analisiak ereduak, elementu horien datu analisi faltak, azalpen sendoak izatea oztopatzen duelako.

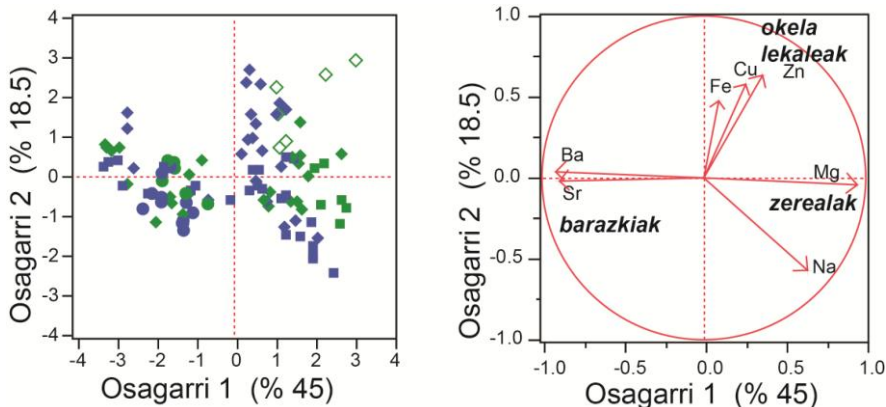
Dentina laginetan aldagai hauek konbinatuz bariantza osoaren % 77,4 betetzen dute lehenengo lau osagaiek. Lehenengo osagaia (PC1) Mg eta Na (karga positiboa) eta Ba eta Sr (karga negatiboa) deskribatzen dute, faktorearen muturretan kokatzen dira eta % 45 dira, aldiz Zn, Cu eta Fe karga positiboa erakusten dute bigarren osagaian (PC2) eta bariantza osoaren % 18,5 dira. 4. Irudian bi osagai nagusien (datuen % 63,5) grafikoak irudikatu dira.

Grafikoak korrelazio aldagaiak erakusten ditu, eta elementu biofuntzionalek lotura estua erakusten dute elementu taldeen artean, zein elikagai talde ezberdinetakin lotu ahalko litzatekeen. Sodioa gozagarrien osagai garrantzitsua da eta sukaltzerako orduan gehitutako gatzarekin lotu daiteke. Gozagarri izateaz gain, Na osagai garrantzitsua da ogian. Magnesioa zerealetan ugaria da. Estrontzio eta barioa elikaduran barazkien ekarpenaren adierazle dira. Zinka eta burdina elikaduran haragi gorriaren presentziaren adierazle bezala erabiltzen dira (Leblanc et al., 2005; Aveglano et al., 2011).

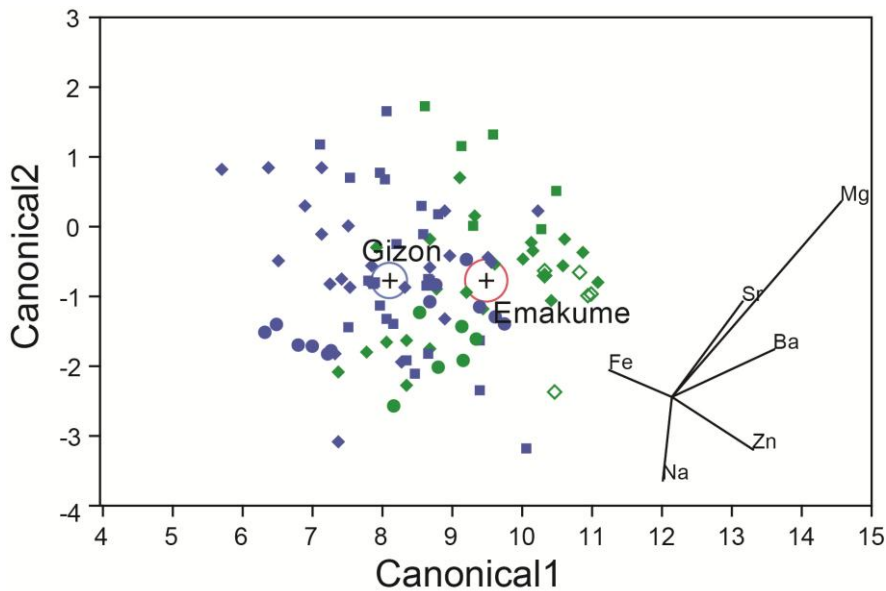
Grafikotik gauza interesgarri bat atera da, laginak, elikadura eta gizabanakoen adinaren arabera banatzen dira (4. Irudia). PC1 vs PC2 egitean antzeko elikadura eredu duten elkarte ezberdinak erakusten ditu. Gizabanako gazteek diagramaren ezkerrean daude taldekatuak Sr eta Ba elementuetan aberastuak daudelarik, honek elikaduran barazkien kantitate handia zela adierazten digu. Heldu gehienak eskumaldean daude multzokatuak zereala eta haragi gorrian oinarritzen da elikadura dutela adieraziz. Helduen taldean bi jokaera ikus daitezke sexuaren

arabera. Emakumeak Cu eta Zn osagarrietarantza doaz. Datu hauen ohiko interpretazioa elikaduran emakumeek gizonezkoek baino haragi gehiago dutela izango lizateke. Zn eta Cu eduki altuak lekaletan ere aurkitu daiteke (Leblanc et al., 2005) eta beraz barazkietatik eratorritako proteina eta zerealen kontsumo handiak azaldu ahalko luke emakumeen sakabanatzea. Orokorrean, Erdi Aroan zehar, Islamatar eta Kristau komunitateetako emakumeen nutrizioa gizonezkoena baino txarragoa zen, hau sexu lan banaketari edo gizarte mailari loturik egon daiteke [46]. Emakumezkoek gizonezkoek baino haragi gehiago jaten dutela onartzea elikaduraren interpretazio okerra izango litzateke. Horrela osagai nagusien analisiak Cu eta Zn osagarriek markatzen duten sexuen araberako elikadura ezberdintasuna emakumeen partetik zereal eta barazki gehiagoren kontsumoarekin azalduko litzateke. Gainera emakumeek haragi kontsumo handia izatearen idea ez dator bat argitaratu gabeko nitrogeno isotopoen emaitzak, zeintzuk animalietatik eratorritako proteina gutxiago jaten zutela adieratzen duten (Guede et al., 2016).

Emakume eta gizonezkoen arteko elikaduran azaltzen diren ezberdintasunei erantzun bat emateko nahian lineal diskriminatzaile analisi egin da. 5. Irudiko laginen grafikoak dieta eta sexuaren artean ezberdintasunak daudela islatzen du. Gizon eta emakumeen artean elikaduran ezberdintasun hauek izateak animalietatik eratorritako proteina ez zutela modu beretzuan eskuragarri islatzen du.



4. Irudia. Bi ehunetako elementu biofuntzionalen PCA ereduaren Score eta loading grafikoak (Mg, Na, Ba, Sr, Zn, Cu). Sinboloak bat datoz gizabanakoen adinarekin. Zirkulua: gazte, karratua: gazte heldua, diamante: heldua, eta hutsik dagoen diamantea: nagusia. Koloreak gizabanakoen sexuarekin loturik daude. Berdea: emakumea eta urdina: gizona. Nahasketa balioak esleitzeko puntuazioa.



5. Irudia. Tausteko gizabanako helduen (emakume eta gizon) element biofuntzionalen analisi diskriminatzailearen grafikoak. Koloreak gizabanakoen sexuari dagozkie. Berdea: emakume eta urdina: gizon. Sinboloak gizabanakoen adinari dagozkie. Sinboloak bat datoz gizabanakoen adinarekin. Zirkulua: gazte, karratua: gazte heldua, diamante: heldua, eta hutsik dagoen diamantea: nagusia.

Ondorioak

LA-ICP-MS antzinako gizakien hortzetan analisiak zuzenean egiteko teknika eraginkorra da, eta bereziki paleoelikaduraren ikerketetarako gomendatua. Gainera, elementu askoren analiza egitearen gaitasunak laginak sailkatzeko ahalmen bikaina eskaintzen du.

Haurren hortzek lur arraroen eta uranio eduki altuak izateak lurperatzearen zehar emandako aldaketen adierazle dira, eta honek lagin hauek ikerketa paleonutrizionalerako baztertzea ekarri du.

Tausteko gizabanakoen hortzen konposizio kimikoan dentina eta esmaltearen arteko ezberdintasunak nabarmenak dira. Kimikoki ezberdintasun hau izateak ehunen konposizio ezberdinean izan behar du azalpena. Dentina soilik birmoldatzen da gizakiaren bizitzan zehar, eta elikadura eta osasunaren isla da.

Lau gizabanakok berunean oso eduki altuak erakusten dituzte, jatorri antropogenikoko berunaren bidezko posoidura islatuz.

Sexu eta adinaren araberako aldaketak antzematen dira konposizio kimikoan, eta elikagaien kontsumoarekin lotzen da zuzenean. Gizonezko helduek emakumezkoek baino animaliatik eratorritako proteina kontsumo handiagoa dute.

Tausteko biztanleriaren elikadura ezberdintasunak sexu bidezko lan banaketan edo gizarte mailak egotearekin egon daitezke erlazionatua.

Ondorioak

1. Gizakien hezur eta hortzen estrontzio eta oxigeno isotopoen konposizioa erabili da gizabanako lokal eta ez lokalak determinatzeko, eta era berean, ipar Iberiar Penintsulako zenbait biztanlerien mugikortasun ereduak birreraikitzeke.

Erromatar Inperioa erori ondoren aldaketa sakonak eman ziren Erdi Aroan zehar, lurraldearen antolakuntzaren eraginez, eta honen ondorioz gizabanakoen migrazio ugariak eman zirela suposatu daiteke. Dena dela, isotopoen konposizioak ikertutako aztarnategietan mugikortasun mugatua eman zela erakusten du. Izan ere, gizabanako batzuk soilik dute jatorri kanpotarra, hurbileko eskualdekoak dira edo ezin izan da jatorria ezagutu. Mugitzearen arrazoiak gizonen kasuan ekonomia hobetzeko nahiak bultzatua eta maila sozial handiagoa lortzeko helburua ziren, emakumeak aldiz ezkontzearen ondorioz mugitzen zirela uste da.

2. Gizakien dietari buruzko ondorio sendoak lortzeko beharrezkoa da tokian tokiko isotopoen konposizioa finkatzea, izan ere, karbono eta nitrogeno isotopoen konposizioak lotura estua dute klimarekin. Hala eta guztiz ere, ikusi den bezala, tokian tokiko oinarrizko isotopo konposizioa finkatzerako garaian arazoak izan daitezke transumantzia edo abereen merkataritzaren ondorioz, Las Gobas aztarnategia kasu, edo datu arkeozoologikoen falta denean, Tausteko aztarnategian esaterako. Ikerketaren emaitzari dagokionez, ikertu diren aztarnategien tokiko konposizioen artean desberdintasun nabariak daude, erreferentzia kokalekuaren garrantzia erakusten dutelarik. Tauste

aztarnategiaren kasuan, gaur egungo ugaztun handiak baztertu dira, lokalak ez diren elikagaiekin elikatzen dituztelako. Horrela lokalak diren bi espezie txiki eta ur gezako arrainen laginak analizatu dira dietaren oinarritzko konposizioa finkatzeko.

3. Biztanleria landatarraren ikerketek dieta orojalea zutela erakutsi dute. Dieta, barazki eta zerealetan, nagusiki garia eta garagarra, eta lekaleak diren C3 landare motatakoan oinarritua zegoen, gainera animalietatik eratorritako proteina apur bat ere, batez ere txerri eta ardia/ahuntza abereetatik datozenak. Tausteko biztanleria islamiarren kasuan beraien erlijioak txerria jatea debekatzen die, horrela proteina iturri nagusiak bildots eta oilaskoen haragia, eta lekaleak ziren. Ur gezako arrainen eta itsasoko baliabideen kontsumoa ezin da baztertu biztanleriaren dietan. Horrez gain, Las Gobas eta San Juan de Momoitio aztarnategietan, une jakin batzuetan, artatxikiaren kontsumoa ere antzeman da. Artatxikiaren kontsumoa, normalean, Erdi Aroko maila sozial baxuko biztanleriarekin lotzen da, hala ere, artatxikiaren kontsumoa, zuzenean edo zeharka faunaren bitartez izan daitekeela kontuan hartzen badugu, emaitzak direnak baino konplexuagoak izan daitezke.
4. Karbono eta nitrogeno isotopoen konposizioaren ikerketaz gain, hortzetan traza elementuak analizatu dira dieta ereduak ikertzeko. Ablazio laser sistemari lotutako induktiboki akoplatutako plasma iturridun masa-espektrometroa (LA-ICP-MS) erabiltzea, analizatu nahi den materialean zuzenean analisiak egitea ahalbidetzen du, hortzean zehar traza

elementuen banaketa eskaintzen duelarik eta laginak sailkatzeko bereizgarri bikaina ere baita. Na, Mg, Sr, Zn, Fe, Ba bezalako elementuak, elementu biofuntzionalak direla kontsideratzen dira, gorputzeko funtzio fisiologikoak mantentzeko ezinbestekoak direlako. Elementu biofuntzionalen kontzentrazioa elikagaien arabera da eta beraz, gizakiak duen dietaren arabera, horrela paleodietaren ereduak zehaztea ahalbidetzen duelarik.

Tausteko laginetan soilik izan da possible LA-ICP-MS analisia egitea, eta emaitzak elementu taldeen arteko korrelazio handia eta elikagaiak talde desberdinetara egokituta egon daitezkeela erakutsi dute. Magnesioa zerealetan ugaria da. Estrontzioa eta baria dieta baten barazki ekarpenaren indikatzaile direla kontsideratzen da. Ordea, zinka eta burdina haragi gorrian oinarritutako dieta baterako markatzaile gisa erabiltzen dira. LA-ICP-MS analisiek eta isotopoen konposizioak antzeko paleodieta ereduak erakusten dute. Gainera, traza elementuen analisiak iraganeko gizakien osasuna ikertzea ahalbidetzen dute. Horrela, Tausteko biztanleriaren barnean bost gizabanakoetan berun eduki altuak antzeman dira, laneko jarduerarekin loturiko intoxikazioa proposatzen dutelarik.

5. Paleodieta ereduak kontsumitzen diren elikagaien buruzko informazioa emateaz gain, Erdi Aroko bizitza sozialaren oinarritzko dinamika ere ilustratu dezakete. C3 eta C4 landareen kontsumoak eta animaliatik eratorritako elikagaien kontsumoak, egoera sozialaren eta gizartearen egituraketaren isla dira.

Iberiar Penintsula eta Europa maila ikertu diren aztarnategi garaikideetan bezala, aztertutako biztanlerien gizabanakoen adinaren eta sexuaren arabera kontsumo ohitura eredu ezberdinak erakutsi dituzte. Las Gobas eta San Juan de Momotioko komunitate landatarrek ez dute sexu eta adinaren arabera dieta ezberdintasunik erakusten, aldiz Tausteko gizon eta emakumeen artean ezberdintasun nabariak daude, baliteke lanaren arabera sexu-zatiketari lotuta egotea, izan ere, emakume musulmanak etxeko lanetara mugatuta zeuden. Gainera gizon helduek, emakume eta gazteak baino animalietatik eratorritako proteina gehiago jaten zuten, Erdi Aroko Islamiar gizon helduak pribilegio gehiago zituztela islatzen duelarik.

Ikertutako guneeetan $\delta^{15}\text{N}$ balioak altuenak 4 urtetik beherako umeetan ematen dira beti, edoskitzearen eta titi-kentzearen ondorioa izanik.

6. Isotopo anitzei buruzko azterketa honek Erdi Aroko komunitate desberdinetako landa biztanleen bizimodua ulertzeko aukera ematen digu. Elikagaiek, eta sexuaren eta adinaren arabera desberdintasunak, komunitateen gizarte-dinamikan (kristau eta musulmanak) oinarritzen dira eta eskualde identitateak berreraikitze aukera ematen dute.

Bibliografia

Abdel-Maksoud G, Abdel-Hady M, Effect of burial environment on crocodile bones from Hawara excavation, Fayoum, Egypt. *J Cult Herit.* 2011; 12 (2):180-189.

Acsádi G, Nemeskéri J. History of Human life span and mortality. Budapest: Akadémiai Kiadó; 1970.

Adamson, M.W. (2002). The Greco-Roman World. In: Regional cuisines of Medieval Europe. New York: Routledge.

Alexander MM, Gerard CM, Gutiérrez A, Millard AR. Diet, society, and economy in late medieval Spain: Stable isotope evidence from Muslims and Christians from Gandía, Valencia. *Am J Phys Anthropol.* 2014; 156 (2): 263-273.

Al-Mahroos F, Al-Saleh F. Lead level in deciduous teeth of children in Bahrain. *Ann Trp Paediatr.* 1997; 17 (2): 147-154.

Alt KW, Knipper C, Peters D, Müller W, Maurer AF, et al. Lombards on the Move – An Integrative Study of the Migration Period Cemetery at Szólád, Hungary. *Plos One.* 2014; doi.org/10.1371/journal.pone.0110793.

Alzualde A, Izagirre N, Alonso S, Alonso A, Albarran C, Azkarate A, De La Rua C. Insights into the “isolation” of the basques: mtDNA lineages from the historical site of Aldaieta (6th-7th centuries AD). *Am J Phys Anthropol.* 2006; 130 (3): 394-404.

Ambrose SH. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *J Archaeol Sci.* 1990; 17: 431-451.

Ambrose SH. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foovebs. *J Archaeol Sci.* 1991; 18: 293-317.

Ambrose SH. Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretive considerations, in *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology.* Langthorne: Gordon & Breach; 1993. pp 59-130.

Ambrose SH, DeNiro MJ. Bone nitrogen isotope composition and climate. *Nature*, 1986; 325: 201 doi:10.1038/325201a0.

Ambrose SH, Katzenberg MA. Biogeochemical approaches to paleodietary analysis. New York: Kluwer Academic/Plenum Publisher; 2000.

Ambrose S, Norr L. Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate. In: Lambert JB, Grupe G, editors. Prehistoric human bone Archaeology at the molecular level. Berlin: Springer-Verlag; 1993. pp. 1-37.

Anderson G.D. Food and diet. In: Meri JW, editor. Medieval Islamic Civilization: an Encyclopedia. New York: Routledge; 2006. pp. 264-266.

Arenal Fernández I. La población medieval vizcaína. Estudio antropológico. Universidad del País Vasco, Bilbao; 1992.

Avegliano RP, Maihara VA, Fernando da Silva F. A Brazilian total diet study: evaluation of essential elements. *J Food Compos Anal*. 2011; 24: 1009–1016.

Azkarate A. Arqueología cristiana de la Antigüedad Tardía en Álava, Guipúzcoa y Vizcaya. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava; 1988.

Azkarate A, Solaun JL. Excavaciones arqueológicas en el exterior de los conjuntos rupestres de Las Gobas (Laño, Burgos). *Archivo Español de Arqueología*. 2008; 81: 133-149.

Azkarate A, Solaun JL. Espacios domésticos, urbanos y rurales, de época medieval en el País Vasco. In: Díez ME, Navarro J, editors. La casa medieval en la Península Ibérica. Madrid: Sílex Ediciones; 2015. pp 541-576.

Azkarate Garai-Olaun A. Aldaieta: necrópolis tardoantigua de Aldaieta (Nanclares de Gamboa, Alava). Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Alava, Departamento de Cultura; 1999.

Baceta JI, Berreteaga, A, Ortega L, Murelaga X. Anatomy of a Danian (Lower Palaeocene) Reef-rimmed Carbonate Shelf: Interrelationships Between High-resolution Stratigraphy and Large-scale Secondary Diagenetic Modifications. Internal Research Report, BG International LTD, 2013. p. 50.

Balasse M, Tresset A, Ambrose SH. First evidence for seaweed winter foddering in the Neolithic of Scotland. *J Zool.* 2006; 270: 170-176.

Balter V. Allometric constraints on Sr/Ca and Ba/Ca partitioning in terrestrialmammalian trophic chains. *Oecologia.* 2004; 139 (1): 83-88.

Balter V, Bocherens H, Person A, Labourdette N, Renard M, Vandermeersch B. Ecological and physiological variability of Sr/Ca and Ba/Ca in mammals of West European mid-Wurmian food webs. *Palaeoeco, Palaeoclima, Palaeoecol.* 2002; 186 (1-2): 127-143.

Balter V, Person A, Labourdette N, Drucker D, Renard M, Vandermeersch B. Were Neandertalians essentially carnivores? Sr and Ba preliminary results of the mammalian palaeobiocoenosis of Saint-Cesaire. *Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Ii Fascicule a-Sciences De La Terre Et Des Planetes.* 2001; 332 (1): 59-65.

Barrett ELB, Moore AJ, Moore PJ. Diet and social conditions during sexual maturation have unpredictable influences on female life history trade-offs. *J Evolution Biol.* 2002; (3): 571-581.

Ben Othman D, Luck JM, Tournoud MG. Geochemistry and water dynamics: application to short time-scale flood phenomena in a small Mediterranean catchment: I. Alkalis, alkali-earths and Sr isotopes. *Chem Geol.* 1997; 140 (1-2): 9-28.

Bender MM. Mass spectrometric studies of carbon-13 variations in corn and other grasses. *Radiocarbon.* 1968; 10: 468-472.

Benson S, Lennard C, Maynard P, Roux C. Forensic applications of isotope ratio mass spectrometry- a review. *Forensic Sci Int.* 2006; 157: 1-22.

Bentley RA. Human migration in Early Neolithic Europe: Strontium and lead isotope analysis of archaeological skeletons. Ph.D. diss., University of Wisconsin, Madison, Wis. 2001.

Bentley RA. Human mobility at the early neolithic settlement of Vaihingen, Germany: evidence from strontium isotope analysis. *Archaeometry*. 2003; 45: 471-486.

Bentley RA. Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review. *J Archaeol Method and Theory*. 2006; 13 (3): 135-187.

Bentley RA, Chikhi L, Price TD. The Neolithic transition in Europe: comparing broad scale genetic and local scale isotopic evidence. *Antiquity*. 2003; 77 (295): 63-66.

Bentley RA, Knipper C. Geographical patterns in biologically available strontium, carbon and oxygen isotope signatures in prehistoric SW Germany. *Archaeometry*. 2005; 47: 629-644.

Bentley RA, Price TD, Lüning J, Gronenborn D, Wahl J, Fullagar PD. Human migration in early Neolithic Europe. *Curr Anthropol*. 2002; 43, 799-804.

Bentley RA, Price TD, Stephan E. Determining the 'local' $(87)\text{Sr}/(86)\text{Sr}$ range for archaeological skeletons: a case study from Neolithic Europe. *J Archaeol Sci*. 2004; 31 (4): 365-375.

Bianchi G. Building, inhabiting and "perceiving" private houses in early medieval Italy. *Arqueología de la Arquitectura*. 2012; 9: 195-212.

Birbaum K, Frick DA, Günther D, Enzweiler J. Determination of reference values for NIST SRM 610-617 glasses following ISO guidelines. *Geostand Geoanal Res*. 2011; 35(4): 397-429.

Birck JL. Precision KeRbeSr isotopic analysis: application to Rb/Sr chronology. *Chem Geol*. 1986; 56 (1-2): 73-83.

Bittel LM. *Women in Early Medieval Europe, 400-1100*. Cambridge: Cambridge University Press; 2002.

Blum JD, Taliaferro EH, Weisse MT, Holmes RT. Changes in Sr/Ca, Ba/Ca and Sr-87/Sr-86 ratios between trophic levels in two forest ecosystems in the northeastern USA. *Biogeochemistry*. 2000; 49 (1): 87-101.

Bocherens H. *Biogéochimie isotopique (13C, 15N, 18O) et Paléontologie des Vertébrés: Applications à l'étude des réseaux trophiques révolus et des paléoenvironnements*. Unpublished Ph.D. thesis. University Paris 6. 1992.

Bocherens H, Drucker D. Trophic level enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and terrestrial ecosystems. *Int J Osteoarchaeol*. 2003; 13: 46-53.

Bocherens H, Fizer HM, Mariotti A. Mise en évidence alimentaire végétarienne de l'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*) par la biogéochimie isotopique (13C,15N) des vertèbres fossiles. *CR Acad Sci Paris Ser II* 1990; 311: 1279-1284.

Bocherens H, Fizer HM, Mariotti A. Diet, physiology and ecology of fossil mammals as inferred from stable carbon and nitrogen isotope biogéochimie: implications for Pleistocene bears. *Paleogeogr Paleoclim Paleoecol*. 1994a; 213-225.

Bocherens H, Fizer HM, Mariotti A, Gangloff RA, Burns JA. Contribution of isotopic biogéochimie (13C, 15N, 18O) to the paleoecology of mammoths (*mammuthus primigenius*). *Hist Biol*. 1994b; 7(3):187-202.

Bocherens H, Fizez M, Mariotti A, Lange-Badre B, Vandermeersch B, Borel JP, Bellon G. Isotopic biogéochimie (13C, 15N) of fossil vertebrate collagen: application to the study of a past food web including Neandertal man. *J Hum Evol*. 1991; 20: 481-492.

Bogaard A, Heaton THE, Charles M, Jones G, Christensen BT, Halstead P, Merbach I, Poulton P, Sparkes D, Styring AK. Manuring and stable nitrogen isotope ratios in cereals and pulses: towards a new

archaeobotanical approach to the inference of land use and dietary practices. *J Archaeol Sci.* 2011; 38: 2790-2804.

Bogaard A, Heaton THE, Poulton P, Merbach I. The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *J Archaeol Sci.* 2007; 34: 335-343.

Böhlke JK, Horan MF. Strontium isotope geochemistry of groundwaters and streams affected by agriculture, Locust grove, MD. *Appl Geochem.* 2000; 15(5): 599-609.

Bol R, Jorgen Eriksen J, Smith P, Garnett MH, Coleman K, Christensen BT. The natural abundance of ^{13}C , ^{15}N , ^{34}S and ^{14}C in archived (1923-2000) plant and soil samples from the Askov long-term experiments on animal manure and mineral fertilizer Rapid Commun Mass Spectrom. 2005; 19: 3216-3226.

Bombin M, Muehlenbachs K. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of Pleistocene mummified remains from Beringia *Quaternary Res.* 1985; 23:123-9.

Bonel G. Contribution à l'étude de la carbonatation des apatites. II. Synthèse et étude des propriétés physicochimiques des apatites carbonatées de type B. III. Synthèse et étude des propriétés physicochimiques d'apatites carbonatées dans deux types de sites. Evolution des spectres infrarouge en fonction de la composition des apatites. *Annales de Chimie e Science des Materiaux.* 1972; 7:127-144.

Boskey AL, Moore DJ, Amling M, Canalis E, Delany AM. Infrared analysis of the mineral and matrix in bones of osteonectin-null mice and their wildtype controls. *J Bone Miner Res.* 2003; 18 (6): 1005-1011.

Braudel F. *The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Phillip II*, Vol. 2. London: *Collins*; 1972.

Britton K, Fuller BT, Tütken T, Mays S, Richards MP. Oxygen isotope analysis of human bone phosphate evidences weaning age in archaeological populations. Am J Phy Anthropol. 2015; 157: 226-241.

Brogiolo GP, Chavarria Arnau A. Dai Vandali ai Longobardi: Osservazioni sull' insediamento barbarico nelle champagne dell'occidente. In: Berndt GM, Steinacher R, editors. *Das Reich der Van dalen und Seine (Vor-)geschichten*, Vienna, 2008, pp.261-281.

Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*. 2009; 51 (1): 337-360.

Bronk Ramsey C, Lee S. Recent and Planned developments of the program Oxcal. *Radiocarbon*. 2013, 55 (2-3): 720-730.

Brothwell D. *Digging up bones. The excavation, treatment and study of human skeletal remains*. London: British Museum, 1981.

Brown AB, Blakely RL.; Biocultural adaptation as reflected in trace elements distribution. *J.Hum. Evol.* 1985; 14:461-468.

Bryant JD, Froelich PN. A model of oxygen isotope fractionation in body water of large mammals. *Geochim Cosmochim Acta*. 1995; 59: 4523-4537.

Budd P, Millard A, Chenery C, Lucy S, Roberts C. Investigating population movement by stable isotope analysis: a report from Britain. *Antiquity*. 2004; 78 (299): 127-141.

Budd P, Montgomery J, Barreiro B, Thomas RG. Differential diagenesis of strontium in archaeological human dental tissues. *Appl Geochim*. 2000; 15: 687-694.

Burton JH. Trace elements in bone as paleodietary indicators. In: Orna MV, editors. *Archaeological Chemistry: Organic, Inorganic, and Biochemical Analysis*, Washington, DC: American Chemical Society; 1996. pp. 327-333.

Burton JH, Price TD. The ratio of barium to strontium as a paleodietary indicator of consumption of marine resources. *J Archaeol Sci*. 1990; 17 (5): 547-557.

Burton JH, Price TD, Middleton WD. Correlation of bone Ba/Ca and Sr/Ca due to biological purification of calcium. *J Archaeol Sci.* 1999; 26: 609-616.

Buzhilova AP. A reconstruction of the lifestyle of early humans by natural-science methods. *Herald of the Russian Academy of Science.* 2016; 86 (4): 298-306.

Byrne KB, Parris DC. Reconstruction of the diet of the Middle Amerindian population of Abbott Farm by bone trace-element analysis. *Am J Phys Anthropol.* 1987; 74: 373-384.

Cakir FY, Korkmaz Y, Firat E, Oztas SS, Gurgan S. Chemical analyses of enamel and dentin following the application of three different at-home bleaching systems. *Oper Dent.* 2011; 36 (5): 529–536.

Cañada Juste A. Los Banu Qasi (714-924). *Principe de Viana.* 1980; 158-159: 5-96.

Capilla JE, Rodriguez Arevalo J, Castaño Castaño S, Díaz Teijeiro MF, Sanchez del Moral R, Heredia Diaz J. Mapping oxygen-18 in meteoric precipitation over Peninsular Spain using geostatistical tools. In: Fall Meeting, AGU (abstract No. H34C-04). San Francisco, CA, USA: American Geophysical Union; 2011.

Capo RC, Stewart BW, Chadwick OA. Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods. *Geoderma.* 1998; 82 (1-3): 197-225.

Carvalho ML, Marquesa AF, Lima MT, Reuse U. Trace elements distribution and post-mortem intake in human bones from middle age by total reflection X-ray fluorescence. *Spectrochim Acta B.* 2004; 59: 1251.

Castaños, P. Estudio de la Fauna de San Juan de Garay. *Kobie.* 1992/93; 20: 137-139.

Castaños Ugarte P, Castaños de la Fuente J. Estudio arqueozoológico de la fauna de “Las Gobas” (Laño, Burgos). Unpublished report., 2014.

- Castellanos S. Los godos y la cruz: Recaredo y la unidad de "Spania". Alianza Editorial; 2007.
- Castellanos S. Poder social, aristocracias y hombre santo en la Hispania Visigoda. La Vita Aemiliani de Braulio de Zaragoza. Logroño: Universidad de La Rioja; 1998.
- Castro W, Hoogewerff J, Latkoczy C, Almirall JR. Application of laser ablation (LAICP-SF-MS) for the elemental analysis of bone and teeth samples for discrimination purposes. *Forensic Sci Int.* 2010; 195 (1–3): 17–27.
- Cate ART. *Oral Histology: Development, Structure, and Function.* NewYork: Mosby; 1998.
- Causapé Valenzuela J. Calidad de los ríos Riguel y Arba (Zaragoza). Influencia del regadío de Bardenas y modelización geoquímica del sistema. *Rev. Real Academia de Ciencias.* 2003; 58: 7-36.
- Chenery C, Eckardt H, Mueldner G. Cosmopolitan Catterick? Isotopic evidence for population mobility on Rome's Northern frontier. *J Archaeol Sci.* 2011; 38 (7): 1525-1536.
- Chenery C, Mueldner G, Evans J, Eckardt H, Lewis M. Strontium and stable isotope evidence for diet and mobility in Roman Gloucester, UK. *J Archaeol Sci.* 2010; 37 (1): 150-163.
- Chew LT, Bradley DA, Mohd AY, Jamil MM. Zinc, lead and copper in human teeth measured by induced coupled argon plasma atomic emission spectroscopy (ICPAES). *Appl Radiat Isot.* 2000; 53: 633–638.
- Chisholm BS, Nelson DE, Schwarcz HP. Stable-carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets. *Science.* 1982; 216: 1131-1132.
- Christian LN, Banner JL, Mack LE. Sr isotopes as tracers of anthropogenic influences on stream water in the Austin, Texas, area. *Chem Geol.* 2011; 282: 84-97.

Codron D, Lee-Thorp JA, Spongheimer M, Codron J, De Ruiter D, Brink JS. Significance of diet type and diet quality for ecological diversity of African ungulates. *J Animal Ecology*. 2007; 76: 526-537.

Connor M, Slaughter D. Diachronic study of Inuit diets utilizing trace element analysis. *Arctic Anthropology*. 1984; 21 (1): 123-134.

Coope JA. Marriage, Kinship, and Islamic Law in Al-Andalus: Reflections on Pierre Guichard's Al-Andalus. *Al-Masāq: Journal of the Medieval Mediterranean* 2010; 20 (2): 171.

Coope JA. An Etiquette for Women: Women's Experience of Islam in Muslim Spain. *Essays in Medieval Studies*. 2014; 29: 76.

Coplen T, Herczeg A, Barnes C. Isotope engineering- using stable isotopes of the water molecule to solve practical problems. In: Cook P, Herczeg A, editors. *Environmental tracers in subsurface hydrology*. Kluwer Academic Publishers, Boston MA, 2000, pp.79-110.

Cox G, Sealy J. Investigating identity and life history: isotopic analysis and historical documentation of slave skeletons found in the Cape Town foreshore, South Africa. *Int. J. Hist. Archaeol*. 1997; 1: 207-224.

Curzon M, Cutress T. *Trace Element and Dental Disease*. Littleton, Mass: J,Wright/PSG Inc; 1983.

Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*. 1964; 16. 436-468.

Darling WG, Bath AH, Gibson JJ, Rozanski K. Isotopes in water. In: Leng MJ, editor. *Isotopes in Palaeoenvironmental Research*. London: Springer; 2006. pp. 1-52.

Daux V, L'écuyer C, Heran MA, Amiot R, Simon L, Fourel F, et al. Oxygen isotope fractionation between human phosphate and water revisited. *J Hum Evol*. 2008; 55: 1138-1147.

De Luca A, Boisseau N, Tea I, Louvet I, Robins RJ, Forhan A, Charles MA, Hankard R. $\delta(15)\text{N}$ and $\delta(13)\text{C}$ in hair from newborn infants and their mothers: a cohort study. *Pediatr Res*. 2012; 71: 598- 604.

DeNiro MJ. Post-mortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to paleodietary reconstruction. *Nature*. 1985; 31:806-809.

DeNiro MJ. Stable isotope and archaeology. *Am Sci*. 1987; 75: 182-191.

DeNiro MJ, Epstein S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta*. 1978; 42:495-506.

DeNiro MJ, Epstein S. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta*. 1981; 45: 341-351.

DeNiro MJ, Weiner S. Chemical, enzymatic and spectroscopic characterization of "collagen" and other organic fractions from prehistoric bones. *Geochim Cosmochim. Acta*. 1988; 52: 2197-2206.

Diaz HF, Hughes M. *The Medieval warm period*. Boston: Kluwer Academic Publishers; 1994.

Dickin AP. *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge, UK, New York: Cambridge University Press; 2005.

Djingova R, Zlateva B, Kuleff I. On the possibilities of inductively coupled plasma mass spectrometry for analysis of archaeological bones for reconstruction of paleodiet, *Talanta*. 2004; 63: 785.

Dolphin AE, Goodman AH, Amarasiriwardena DD. Variation in elemental intensities among teeth and between pre- and postnatal regions of enamel. *Am J Phys Anthropol*. 2005; 128: 878–888.

Drucker D, Bocherens H. Carbon and nitrogen isotopes as tracers of change in diet breadth during Middle and Upper Paleolithic in Europe. *Inter J Osteoarchaeol*. 2004; 14. 162-177.

Drucker DG, Bocherens H. Carbon stable isotopes of mammal bones as tracers of canopy development and habitat use in temperate and boreal contexts. In: Creighton JD, Roney PJ, editors. *Forest Canopies: Forest production Ecosystem health, and climate conditions*. Nova Science Publishers, Inc, 2009. pp.103-109.

Drucker D, Bocherens H, Bridault A, Billiou D. Carbon and nitrogen isotopic composition of Red deer (*Cervus elaphus*) collagen as a tool for tracking palaeoenvironmental change during the Late-Glacial and Early Holocene in the northern Jura (France). *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.* 2003; 195: 375-388.

Drucker D, Bridault A, Hobson K, Szuma E, Bocherens H. Can carbon-13 in large herbivores reflects the canopy effect in temperate and boreal ecosystems? Evidence from modern and ancient ungulates. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.* 2008; 195: 375-388.

Dufour E, Bocherens A, Mariotti A. Palaeodietary implications of isotopic variability in Eurasian lacustrine fish. *J Archaeol Sci.* 1999; 26: 617-627.

Dufour V, Pelé M, Sterck EHM, Thierry B. Chimpanzee anticipation of food return: coping with waiting time in an exchange task. *J Comp Psychol.* 2007; 121: 145-155.

Dupras TL, Schwarz HP, Fairgrieve SI. Infant feeding and weaning practices in Roman Egypt. *Am J Phys Anthropol.* 2001; 115: 204-212.

Eckardt H, Chenery C, Booth P, Evans JA, Lamb A, Mueledner G. Oxygen and strontium isotope evidence for mobility in Roman Winchester. *J of Archaeol Sci.* 2009; 36 (12): 2816-2825. Eguia E. Estudio del dimorfismo sexual y determinación de la edad en el cráneo vasco. Unpublished Ph.D. diss, Universidad del País Vasco; 1982.

Ehleringer JR, Bowen GJ, Chesson LA, West AG, Podlesak DW, Cerling TE. Hydrogen and oxygen isotope ratios in human hair are related to geography. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2008; 105:2788-2793.

Ericson JE. Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human-ecology. *J Hum Evol.* 1985; 14 (5): 503-514.

Ericson JE. Some problems and of strontium isotope analysis for human and animal ecology. In: Rundel PW, editors. *Stable Isotopes in Ecological Research*. Springer-Verlag, New York, 1989. pp. 254-269.

Espinosa U. Civitates y territoria en el Ebro Medio: continuidad y cambio durante la Antigüedad Tardía. In: Espinosa U, Castellanos S, editors. *Comunidades locales y dinámicas de poder en el norte de la Península Ibérica durante la Antigüedad Tardía*, Logroño, 2006. pp. 41-100.

Evans J, Chenery C, Fitzpatrick AP. Bronze age childhood migration of individuals near Stonehenge, revealed by strontium and oxygen isotope tooth enamel analysis. *Archaeometry*. 2006a; 48: 309-321.

Evans JA, Montgomery J, Wildman G, Bouton N. Spatial variations in biosphere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in Britain. *J Geol Soc*. 2010; 167: 1-4.

Evans J, Stoodly N, Chenery N. A strontium and oxygen isotope assessment of a possible fourth century immigrant population in a Hampshire cemetery, southern England. *J Archaeol Sci*. 2006b; 33: 265-272.

Ezzo JA, Johnson CM, Price TD. Analytical perspectives on prehistoric migration: a case study from east-central Arizona. *J Archaeol Sci* 1997; 24 (5): 447-466.

Ezzo JA, Price TD. Migration, regional reorganization, and spatial group composition at Grasshopper Pueblo, Arizona. *J Archaeol Sci*. 2002; 29 (5): 499-520.

Faure G, Mensing TM. *Isotopes: Principles and Applications*. New Jersey: Wiley, Hoboken; 2005.

Faure G, Powell JL. *Strontium Isotope Geology*. Berlin, NewYork: Springer-Verlag; 1972.

Feranec RS, MacFadden BJ. Isotopic discrimination of resources partitioning among ungulates in C3-dominated communities from the Miocene of Florida and California. *Paleobiology*. 2006; 32: 191-205.

Ferembach D, Schwidetzky I, Stloukal M. Recommendations for age and sex diagnoses of skeletons. *J. Hum. Evol.* 1980; 9: 517-549.

Fernández de Ortega I. Hidrogeología de las sierras de Badaia y Arkamo (u.h. calizas de Subijana, País Vasco): investigación mediante aplicación conjunta de diversas técnicas con especial incidencia en la dinámica intrapozo. Departamento de Geodinámica. Ph.D. diss., Universidad del País Vasco-UPV/ EHU, Leioa, 2007.

Fogel ML, Tuross N, Owsley DW. Nitrogen Isotope Tracers of Human Lactation in Modern and Archaeological Populations. *Yearbook of the Carnegie Institution Geophysical Laboratory*. Washington DC: Carnegie Institution of Washington; 1989. pp. 111-117.

Fraga CG. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Mol Asp Med*. 2005; 26: 235–244.

Fraser RA, Bogaard A, Heaton T, Charles M, Jones G, Christensen BT, et al. Manuring and stable nitrogen isotope ratios in cereals and pulses: towards a new archaeobotanical approach to the inference of land use and dietary practices. *J Archaeol Sci*. 2011; 38: 2790-2804.

Fraser LK, Miller M, Aldridge J, McKinney PA, Parslow RC. Life-limiting and life-threatening conditions in infant and young people in the United Kingdom; national and regional prevalence in relation to socioeconomic status and ethnicity. Final report for children's hospice UK, University of Leeds, 2011.

Frei K, Price TD. Strontium isotopes and human mobility in prehistoric Denmark. *Archaeol Anthropol Sci*. 2012; 4 (2): 103-114.

Frei KM, Skals I, Gleba M, Lyngstrom H. The Huldremose Iron Age textiles, Denmark: an attempt to define their provenance applying the strontium isotope system. *J Archaeol Sci* 2009; 36 (9): 1965-1971.

Fuller BT, De Cupere B, Marinova E, Van Neer W, Waelkens M, Richards MP. Isotopic reconstruction of human diet and animal husbandry practices during the Classical-Hellenistic, Imperial and Byzantine periods at Sagalassos, Turkey. *Am J Phys Anthropol.* 2012; 149: 157-171.

Fuller BT, Fuller JL, Sage NE, Harris DA, O'Connell TC, Hedges REM. Nitrogen balance and ^{15}N : why you're not what you eat during pregnancy. *Rapid Commun Mass Spectrom.* 2004; 18: 2889-2896.

Fuller BT, Fuller JL, Sage NE, Harris DA, O'Connell TC, Hedges REM. Nitrogen balance and ^{15}N : why you're not what you eat during nutritional stress. *Rapid Commun Mass Spectrom.* 2005; 19: 2497- 2506.

Fuller BT, Márquez-Grant N, Richards MP. Investigation of diachronic dietary patterns on the islands of Ibiza and Formentera, Spain: Evidence from Carbon and Nitrogen stable isotope ratio analysis. *Am J Phys Anthropol.* 2010; 143 (4): 515-522.

Fuller BT, Molleson TI, Harris DA, Gilmour LT, Hedges REM. Isotopic evidence for breastfeeding and possible adult dietary difference from Late/Sub-Roman Britain. *Am J Phys Anthropol.* 2006; 129: 45-54.

García Camino I. *Arqueología y poblamiento en Bizkaia, siglos VI-XII. La configuración de la sociedad feudal.* PhD Thesis. Bizkaia: Diputación Foral de Bizkaia, Departamento de Cultura; 2002.

García Camino I. *Arqueología Medieval en Bizkaia: Hipotesis y perspectivas de investigación.* *Kobie.* 2004; 6: 537-558.

García de Cortazar JA, Sesma JA. *Manual de Historia Medieval.* Madrid: Alianza Universidad; 2008.

García Sánchez E. *La gastronomía andalusí.* In: Salvatierra Cuenca V, editor. *El zoco: vida económica y artes tradicionales en el al-Andalus y Marruecos.* Madrid: Lunwerg; 1995. pp. 49-57.

García Sánchez E. *Dietetic aspect of food in al-Andalus.* In: Waines D, editors. *Patterns of Everyday Life.* Aldeshot: Ashgate; 2002. pp. 275-288.

García-Sánchez E. Comidas de mujeres en la sociedad andalusí. In: Calero-Secall I, editor. *Mujeres y sociedad islámica: una visión plural*. Málaga: Universidad de Málaga; 2006. pp. 201-222.

Gilbert R. Applications of trace element research yo problems in archaeology. In: Blakery RL, editors. *Biocultural Adaptation in Prehistoric America*. Athens. 1977. pp.147-162.

Gillett A. Ethnogenesis: a contested model of Early Medieval Europe. *History Compass*. 2006; 4 (2): 241-260.

Gillmaier N, Kronseder C, Grupe G, von Carnap-Bornheim C, Sollner F, Schweissing M. The Strontium Isotope Project of the International Sachsen symposium. In: Benecke N, editors. *Beitrage zur Archazozoologie und Prahistorischen Anthropologie 7*, Langenweisbach, 2009. pp.133-142.

Glick TF. Agriculture and nutrition: the Mediterranean region. In: Strauyer R, editor. *Dictionary of the middle ages* New York: *Charles Scribner's Sons for the American Council of Learned Societies*; 1982. pp. 79–88.

Glick T. *Islamic and Christian Spain in the Early Middle Ages*. 2nd ed. Leiden: Brill; 2005.

Global Network of Isotopes in Precipitation [Internet]. The GNIP Database. Available from: <http://www.iaea.org/water>. 2015.

Gómez Alday JJ, Ortega LA, Menendez M, Elorza J. Inocerámidos y sedimento carbonatado (Maastrichtiense inferior, Arco Vasco): Comportamiento de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ durante la diagénesis. (Parte 1). *Geogaceta*. 2001; 30: 163-166.

González Blanco A. La investigación sobre las cuevas. *Antigüedad y cristianismo* 1993; 10: 15-40.

Grau I. Ganadería en la Alta Edad Media. Estudio comparativo de los yacimientos alaveses de Zornoztegi, Zaballa y Salvatierra-Agurain. *Munibe (Antropologia- Arkeologia)*. 2009; 60: 253-280.

Graustein WC. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios measure the sources and flow of strontium in terrestrial ecosystems. In: Rundel PW, Ehleringer JR, Nagy KA, editors. *Stable Isotopes in Ecological Research*, New York: Springer; 1989. pp. 491-512.

Greene EF, Tauch S, Webb E, Amarasiriwardena D. Application of diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS) for the identification of potential diagenesis and crystallinity changes in teeth. *Microchem J.* 2004; 76 (1-2): 141-149.

Gretchen DJ, Stanley DJ. The uses of pollen and its implication for entomology. *Neotrop Entomol.* 2001; 30(3):341-350.

Gridded maps of the isotopic composition of meteoric waters [Internet]. Available from: <http://www.waterisotopes.org>. 2015.

Grove JM, Switsur R. Glacial geological evidence for the medieval warm period. *Climatic Change.* 1994; 26 (2–3): 143.

Grumett D, Muers R. *Theology on the Menu: Asceticism, Meat and Christian Diet.* Routledge; 2010.

Grupe G. Archives of childhood. the research potential of trace element analyses of ancient human dental enamel. In: Alt KW, Rösing FW, Teschler-Nicola M, editors. *Dental Anthropology. Fundamentals, Limits and Prospects.* New York: Springer; 1998. pp. 337–347.

Grupe G, Price TD, Schroter P, Sollner F, Johnson CM, Beard BL. Mobility of Bell Beaker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: a study of southern Bavarian skeletal remains. *Appl Geochem.* 1997; 12 (4): 517-525.

Grupe G, Price TD, Sollner F. Mobility of Bell Beaker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: a study of southern Bavarian skeletal remains. A reply to the comment by Peter Horn and Dieter Muller- Sohnus. *Appl Geochem.* 1999; 14 (2): 271-275.

Guede I, Ortega LA, Zuluaga MC, Alonso-Olazabal A, Murelaga X, Pina M, Gutierrez FJ, Iacumin P. Isotope analyses to explore diet and mobility in a medieval Muslim population at Tauste (NE Spain). *PlosOne*. 2017 doi.org/10.1371/journal.pone.0176572.

Guede I, Zuluaga MC, Ortega LA, Alonso-Olazabal A, Murelaga X, Piña M, Gutierrez FJ. Analyses of human dentine and tooth enamel by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICPMS) to study the diet of medieval Muslim individuals from Tauste (Spain). *Microchem J*. 2017; 130: 287-294.

Günther D, Quadt AV, Wirz R, Cousin H, Dietrich VJ. Elemental analyses using laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) of geological samples fused with Li₂B₄O₇ and calibrated without matrix-matched standards. *Microchem Acta* 2001; 136: 101.

Gurruchaga I. Localización de algunas ciudades vándulas citadas por Mela y Ptolomeo. *BIAEV*. 1951; 7: 222-231.

Gutiérrez FJ, Pina M, Laliena C. La maqbara de Tauste. Primeras investigaciones. *Acta I Congreso Aragonés de Arqueología y Patrimonio*. 2016; 415-424.

Gutiérrez FJ, Pina M. El cementerio andalusí de Tauste. Tauste en su historia. *Actas de las XII Jornadas sobre la Historia de Tauste*. Asociación Cultural El Patiaz. 2011; 67-113.

Hakenbeck S. Migration in archaeology: are we nearly there yet? *Archaeological Review from Cambridge*. 2008; 23 (2): 9-26.

Hakenbeck S. Local, Regional and Ethnic Identities in Early Medieval Cemeteries in Bavaria. Firenze: All'insegna del Giglio; 2011.

Hakenbeck S, McManus E, Geisler H, Grupe G, O'Connell TC. Diet and mobility in Early Medieval Bavaria: a study of carbon and nitrogen stable isotopes. *Am J Phys Anthropol*. 2010; 143 (2): 235-249.

Halsall G. *Barbarian Migrations and the Roman West*. Cambridge: Cambridge University Press; 2007. pp. 376-568.

Heather P, Lozoya TD, Rabasseda-Gascón J. *Emperadores y bárbaros: el primer milenio de la historia de Europa*. Barcelona. Crítica; 2010.

Heaton TH. The $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratio of plants in South Africa and Namibia: relationship to climate and coastal/saline environments. *Oecol*. 1987; 74 (2): 236-246.

Hedges REM, Reynard L. Nitrogen Isotopes and the Trophic Level of Humans in Archaeology. *J Archaeol Sci*. 2007; 34 (8): 1240-1251.

Hemer KA, Lamb AL, Chenery CA, Evans JA. A multi-isotope investigation of diet and subsistence amongst island and mainland populations from early medieval western Britain. *Am J Phys Anthropol*. 2017; 162: 423-440.

Herrasti, L, Etxeberria, F. Estudio de los restos óseos humanos procedentes de la necrópolis de Las Gobas (Laño, Treviño). 2014 Unpublished report.

Herring DA, Saunders SR, Katzenberg MA 1998. Investigating the weaning process in past populations. *Am J Phys Anthropol* 105 (4):425-439.

Herwartz D, Tütken T, Jochum KP, Sander PM. Rare earth elemental systematic of fossil bone revealed by LA-ICPMS analysis. *Geochim Cosmochim Acta*. 2013; 103: 161–183.

Hillson S. *Teeth*. Cambridge: Cambridge University Press; 1986.

Hillson S. *Dental Anthropology*. Cambridge, England: .Cambridge University Press; 1996.

Hitchcock R. *Muslim Spain reconsidered from 711 to 1502*. Edinburgh: Edinburgh University Press; 2014.

Hoefs J. *Stable Isotope Geochemistry*. 3rd edition. Berlin: Springer-Verlag; 1997

Hoefs J. Stable Isotope Geochemistry. 1st edition. Berlin: Springer-Verlag; 2009.

Högberg U, Iregren E, Siven CH, Diener L. Maternal deaths in medieval Sweden: an osteological and life table analysis. *J Biosoc Sci.* 1987; 19 (04): 495-503.

Hoogewerff J, Papesch W, Kralik M, Berner M, Vroon PZ, Miesbauer H, GAbber O, Kuenzel KH, Kleinjans J. The last domicile of the iceman from Hauslabjoch: A geochemical approach using Sr, C and O isotopes and Trace element signatures. *J Archaeol Sci.* 2001; 28(9): 983-989.

Hoppe KA, Koch PL, Furutani TT. Assessing the preservation of biogenic strontium in fossil bones and tooth enamel. *Int J Osteoarchaeol.* 2003; 13 (1-2): 20-28.

Hoppe KA, Koch PL. Reconstructing the migration patterns of late Pleistocene mammals from northern Florida, USA. *Quaternary Res.* 2007; 68 (3): 347-352.

Hoppe KA, Koch PL, Carlson RW, Webb SD. Tracking mammoths and mastodons: reconstruction of migratory behavior using strontium isotope ratios. *Geology.* 1999; 27 (5): 439-442.

Humphrey LT, Dirks W, Dean MC, Jeffries TE. Tracking dietary transitions in weanling baboons (*Papio hamadryas Anubis*) using strontium/calcium ratios in enamel. *Folia Primatol.* 2008; 79: 197-212.

Hunt BG. The Medieval Warm Period, the Little Ice Age and simulated climatic variability. *Climate Dynamics.* 2006; 27: 677-694.

Iacumin P, Venturelli G. The $\delta^{18}\text{O}$ of phosphate of ancient human biogenic apatite can really be used for quantitative palaeoclimate reconstruction? *European Scientific Journal.* 2015; 11 (9): 221-235.

Insoll T. The archaeology of Islam. Oxford: Blackwell; 1999.

James D. Early Islamic Spain: The History of Ibn Al-Qutiyah, New York: Routledge; 2009.

James E. I Barbari. Il Mulino, Bologna, 2011.

Jervis B. Pottery and social lifestyle in medieval England. London: Oxbow Books; 2014.

Jochum LP, Weis U, Stoll B, Kuzmin D, Yang Q, Raczek I, Jacob DE, Stracke A, Birbaum K, Frick DA, Günther D, Enzweiler J. Determination of reference values for NIST SRM 610-617 glasses following ISO guidelines. *Geostand Geoanal Res.* 2011; 35(4): 397–429.

Jones M. Food globalization in prehistory: The agrarian foundations of an interconnected continent. *Journal of the British Academy.* 2011; 4: 73-87.

Joyce RA. Burying the Dead at Tlatilco: Social Memory and Social Identities. *Archaeological Papers of the American Anthropological Association.* 2001; 10 (1): 12-26.

Kalicanin BM, Nikolic R. Potentiometric stripping analysis of zinc and copper in human teeth and dental materials. *J Trace Elem Med Bio.* 2008; 2: 93-99.

Kang D, Amarasiriwardena D, Goodman AH. Application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) to investigate trace metal spatial distributions in human tooth enamel and dentine growth layers and pulp. *Anal Bioanal Chem.* 2004; 378: 1608-1615.

Katzenberg MA. Stable isotope analysis: a tool for studying past diet, demography and life history, In: Katzenberg MA, Saunders SR, editors. *Biological Anthropology of the Human skeleton.* New York: Wiley-Liss; 2000. pp. 305-328.

Katzenberg MA, Ann Harring D, Saunders SR. Weaning and Infant Mortality: Evaluating the Skeletal Evidence. *Yearbook of Phys Anthropol.* 1996; 38: 177-199.

Katzenberg MA, Harrison RG. What's in a bone? Recent advances in archaeological bone chemistry. *J Archaeol Research.* 1997; 5: 265–293.

Katzenberg MA, Lovell NC. Stable isotope variation in pathological bone. *Inter J Osteoarchaeol.* 1999; 9: 316–324.

Katzenberg AM, Pfeiffer S. Nitrogen isotope evidence for weaning age in a nineteenth century Canadian skeletal sample. In: Grauer AL, editor. *Bodies of evidence: Reconstructing history through skeletal analyses.* Wiley-Liss; 1995, pp.221-236.

Katzenberg MA, Saunders SR. *Biological Anthropology of the Human skeleton.* New York: Wiley-Liss; 2000.

Katzenberg AM, Weber A. Stable isotope ecology and paleodiet in the Lake Baikal region of Siberia. *J Archaeol Sci.* 1999; 26: 651-659.

Keenleyside A, Schwarcz H, Stirling L, Ben Lazreg N. Stable isotopic evidence for diet in a Roman and Late Roman population from Leptiminus, Tunisia. *J Archaeol Sci.* 2009; 36 (1): 51-63.

Kelly JF, Ruegg KC, Smith TB. Combining isotopic and genetic markers to identify breeding origins of migrant birds. *Ecol Appl.* 2005; 15: 1487-1494.

Killingley JS. Migrations of California gray whales tracked by Oxygen-18 variations in their epizonic barnacles. *Science.* 1980; 207: 759-760.

Killingley JS, Lutcavage M. Loggerhead turtle movements reconstructed from ^{18}O and ^{13}C profiles from commensal barnacle shells, estuarine, Coast. Shelf Sci. 1983; 16: 345-349.

Knudson KJ. Tiwanaku influence in the South Central Andes: strontium isotope analysis and Middle horizon migration. *Lat Am Antiq.* 2008; 19 (1): 3-23.

Knudson KJ, O'Donnabhain B, Carver C, Cleland R, Price TD. Migration and Viking Dublin: paleomobility and paleodiet through isotopic analyses. *J Archaeol Sci.* 2012; 39 (2): 308-320.

Knudson KJ, Price TD, Buikstra JE, Blom DE. The use of strontium isotope analysis to investigate Tiwanaku migration and mortuary ritual in Bolivia and Peru. *Archaeometry*. 2004; 46: 5-18.

Knudson KJ, Torres-Rouff C. Investigating cultural heterogeneity in San Pedro de Atacama, northern Chile, through biogeochemistry and bioarchaeology. *Am J Phys Anthropol*. 2009; 138 (4): 473-485.

Knudson KJ, Tung TA, Nystrom KC, Price TD, Fullagar PD. The origin of the Juch'uypampa Cave mummies: strontium isotope analysis of archaeological human remains from Bolivia. *J Archaeol Sci*. 2005; 32 (6): 903-913.

Knudson KJ, Williams SR, Osborn R, Forgey K, Williams PR. The geographic origins of Nasca trophy heads using strontium, oxygen, and carbon isotope data. *J Anthropol Archaeol*. 2009; 28 (2): 244-257.

Kohn MJ. Predicting animal $\delta^{18}\text{O}$: Accounting for diet and physiological adaption. *Geochim Cosmochim Acta*. 1996; 60 (23): 4811-4829.

Kohn MJ. Carbon isotope compositions of terrestrial C3 plants as indicators of (paleo)ecology and (paleo)climate PNAS. 2010; 107 (46): 19691-19695.

Kohn MJ, Cerling TE. Stable isotope compositions of biological apatite. *Rev Mineral Geochem*. 2002; 48: 455-488.

Kohn MJ, Schoeninger MJ, Barker WW. Altered states: effects of diagenesis on fossil tooth chemistry. *Geochim Cosmochim Ac*. 1999; 63: 2737-2747.

Kohn MJ, Schoeninger MJ, Valley JW. Herbivore tooth oxygen isotope compositions: Effects of diet and physiology. *Geochim Cosmochim Acta*. 1996; 60: 3889-3896.

Kolodny Y, Luz B, Sander M, Clemens WA. Dinosaur bones; fossils of pseudomorphs? The pitfalls of physiology reconstruction from apatitic fossils. *Palaeogeogr Palaeocl*. 1996; 126: 161-171.

Kowal-Linka M, Jochum KP. Variability of trace element uptake in marine reptile bones from three Triassic sites (S Poland): influence of diagenetic processes on the host rock and significance of the applied methodology. *Chem Geol.* 2015; 397: 1–13.

Kowal-Linka M, Jochum KP, Surmik D. LA-ICP-MS analysis of rare earth elements in marine reptile bones from the Middle Triassic bonebed (Upper Silesia, S Poland): impact of long-lasting diagenesis, and factors controlling the uptake. *Chem Geol.* 2014; 363: 213–228.

Lambert JB, Simpson SV, Buikstra JEHD. Electron microprobe analysis of elemental distribution in excavated human femurs. *Am J Phys Anthropol.* 1983; 62: 409.

Le Huray J, Schutkowski H. Diet and social status during the La Tène period in Bohemia: Carbon and nitrogen stable isotope analysis of bone collagen from Kutná Hora-Karlov and Radovesic. *J Anthropol Archaeol.* 2005; 24(2): 135-147.

Le Huray JD, Schutkowski H, Richards DA. La tène dietary variation in central Europe: a stable isotope study of human skeletal Archaeol Anthropol Sci remains from bohemia. In: Gowland R, Knüsel C. editors. *Social archaeology of funerary remains Oxbow: Oxford; 2006. pp 99–122.*

Leblanc JC, Guérin T, Noël L, Calamassitran G, Volatier JL, Verger P. Dietary exposure estimates of 18 elements from the 1st French total diet study. *Food Contam.* 2005; 22 (7): 624–641.

Lee-Thorp JA. Stable carbon isotopes in deep time: The diets of fossil fauna and hominids. Ph.D. diss, University of Cape Town. 1989.

Lee-Thorp JA. On Isotopes and Old Bones. *Archaeometry.* 2008; 50 (6): 925-950.

Lee-Thorp JA, Sealy JC and van der Merwe NJ. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite and their relationship to diet. *J Archaeol Sci.* 1989; 16:585-599.

Levinson AA, Luz B, Kolodny Y. Variations in oxygen isotopic compositions of human teeth and urinary stones. *Appl Geochem*. 1987; 2: 367-371.

Lightfoot E, O'Connell TC. On the use of biomineral oxygen isotope data to identify human migrants in the archaeological record: intra-sample variation, statistical, methods and geographical considerations. *Plos One*. 2016; 11(4): e0153850. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153850>

Lin GP, Rau YH, Chen YF, Chou CC, Fu WG. Measurements of D and ¹⁸O stable isotope ratios in milk. *J Food Sci*. 2003; 68: 2192-2195.

Longerich HP, Jackson SE, Gunther D. Laser ablation-inductively coupled plasmamass spectrometric transient signal data acquisition and analyte concentration calculation. *J Anal At Spectrom*. 1996; 11: 899–904.

Longinelli A. Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological search? *Geochim Cosmochim Acta*. 1984; 48: 385-390.

López-Costas O, Müldner G. Fringes of the empire: Diet and cultural change at the Toman to post- Roman transition in NW Iberia. *Am J Physic Anthropol*. 2016; 161: 141-154.

Loza Uriarte M, Niso Lorenzo J. Resultados preliminares de la intervención arqueológica de San Martín de Dulantzi (Alegría-Dulantzi, Álava). In: Quirós Castillo JA editors. *Vasconia en la Alta Edad Media, 450-1000: poderes y comunidades rurales en el norte peninsular*. Universidad del País Vasco, Leioa; 2011. pp. 235-246.

Loza Uriarte M, Niso Lorenzo J. La intervención arqueológica en el yacimiento de San Martín de Dulantzi (Alegría-Dulantzi, Álava Arkeoikuska). *Investigación Arqueológica* 2012; 11: 35-47.

Luz B, Kolodny Y, Horowitz M. Fractionation of oxygen isotopes between mammalian bone-phosphate and environmental drinking water. *Geochim Cosmochim Acta*. 1984; 48: 1689-1693.

Luz B, Kolodny Y. Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatite, IV. Mammal teeth and bones. *Earth Planet Science Letters*. 1985; 75: 29-36.

MacFadden BJ, Higgins P, Clementz MT, Jones DS. Diets, habitat preferences and niche differentiation of Cenozoic sirenians from Florida: evidence from stable isotopes. *Paleobiology*. 2004; 30:297-324.

Malainey ME. *A Consumer's Guide to Archaeological Science: Analytical Techniques*. New York: Springer; 2011.

Malleson T. The accumulation of trace metals in bone during fossilization. In: Priest ND, Van De Vyver FL, editors. *Trace Metals and Fluoride in Bones and Teeth*. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc; 1990. pp. 341–365.

Mariotti A. Natural ^{15}N abundance measurements and atmospheric nitrogen standard calibration. *Nature*. 1984, 311: 251-252.

Maurer AF, Galer SJG, Knipper C, Beierlein L, Nunn EV, Peters D, Tutken T, Alt KW, Schone BR. Bioavailable $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in different environmental samples effects of anthropogenic contamination and implications for isoscapes in past migration studies. *Sci Total Environ*. 2012; 433: 216-229.

Mays SA, Richards MP, Fuller BT. Bone stable isotope evidence for infant feeding in Mediaeval England. *Antiquity*. 2002; 76(293): 654-656.

Meier-Augenstein W. *Stable isotope forensics: an introduction to the forensic application of stable isotope analysis*. Oxford: Wiley-Blackwell; 2010.

Mery JW. *Medieval Islamic Civilization*. New York: Routledge Taylor and Francis Group; 2006.

Millard AR. An evaluation of the possible use of nitrogen isotopes to detect milking in cattle. In: Bailey G, Charles R, editors. *Human Ecodynamics: Proceedings of the AEA Conference of September 1998*. Oxford: Oxbow books; 2000. pp. 134-140.

Monreal LA. Centros eremíticos y semieremíticos en el Valle de Ebro: Aspectos metodológicos. II Semana de Estudios Medievales. 1992; 49-64.

Monreal LA. Arquitectura religiosa de oquedades en los siglos anteriores al románico. VII Semana de Estudios Medievales. 1997; 235-264.

Montgomery J, Evans JA, Cooper RE. Resolving archaeological populations with Sr-isotope mixing models. *Appl Geochem*. 2007; 22: 1502–1514.

Montgomery J, Evans JA, Neighbour T. Sr isotope evidence for population movement within the Hebridean Norse community of NW Scotland. *J Geol Soc London*. 2003; 160: 649-653.

Montgomery J, Evans JA, Powlesland D, Roberts CA. Continuity or colonization in Anglo-Saxon England? Isotope evidence for mobility, subsistence practice, and status at West Heslerton. *Am J Phys Anthropol*. 2005; 126 (2): 123-138.

Montgomery J, Evans JA, Wildman G. Sr-87/Sr-86 isotope composition of bottled British mineral waters for environmental and forensic purposes. *Appl Geochem*. 2006; 21: 1626-1634.

Müldner G, Chenery C, Eckardt H. The 'Headless Romans': multi-isotope investigations of an unusual burial ground from Roman Britain. *J Archaeol Sci*. 2011; 38 (2): 280-290.

Müldner G, Richards MP. Fast or feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis. *J Archaeol Sci*. 2005; 32: 39-48.

Müldner G, Richards MP. Diet and diversity at later medieval Fishergate: the isotopic evidence. *Am J Phys Anthropol*. 2007; 134: 162-74.

Müldner GH, Richards MP. Stable isotope evidence for 1500 years of human diet at the city of York, UK. *Am J Phys*. 2007; 133 (1): 682-697.

Mundee M. Exploring Diet and Society in Medieval Spain: New Approaches Using Stable Isotope Analysis. Ph.D. diss, Durham University, England. 2010.

Nafplioti A. Tracing population mobility in the Aegean using isotope geochemistry: a first map of local biologically available $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ signatures. *J Archaeol Sci.* 2011; 38: 1560-70.

Navas A. la participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la cuenca de Ebro. Metodología de cuantificación. *An Aula Dei.* 1988; 19 (3-4): 345-359.

O'Brien DM, Wooller MJ. Tracking human travel using stable oxygen and hydrogen isotope analysis of hair and urine. *Rapid Commun Mass Spectrom.* 2007; 21:2422-2430.

O'Connell TC, Kneale CJ, Tasevska N, Kuhnle GGC. The diet-body offset in human nitrogen isotopic values: a controlled dietary study. *Am J Phys Anthropol.* 2012; 149: 426-434.

O'Leary M. Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry.* 1981; 20:553-567.

Oelze VM, Fuller BT, Richards MP, Fruth B, Surbeck M, Hublin JJ, Hohmann G. Exploring the contribution and significance of animal protein in the diet of bonobos by stable isotope ratio analysis of hair. *PNAS.* 2011; 108 (24): 9792-9797.

Olcina Doménech MH, Tendero Porras E, Guilabert Mas AP. Lucentum: Anales de la universidad de Alicante. Prehistoria, arqueología e historia antigua. 2008; 27:213-228.

Ostrom MH, Macko SA, Engel MH, Silfer JA, Russell D. Geochemical characterization of high molecular weight organic material isolated from Late Cretaceous fossils. *Or Geochem.* 1990; 16:1139-1144.

Palmqvist P, Groecke DR, Arribas A, Farina RA. palaeocological reconstruction of a lower Pleistocene large mammal community using biogeochemical (C, N O, Sr:Zn) and ecomorphological approaches. *Paleobiology.* 2003; 29: 205-229.

- Parfitt AM. The physiologic and clinical significance of bone histomorphometric data. In: Recker RR, editors. *Bone Histomorphometry: Techniques and Interpretation*. Boca Raton, FL: CRC Press; 1983. pp. 143-244.
- Park R, Epstein S. Metabolic fractionation of C^{13} & C^{12} in plants. *Plant Physiol*. 1961; 36(2): 133–138.
- Paton C, Hellstrom J, Paul B, Woodhead J, Hergt J. Lolite: freeware for the visualization and processing of mass spectrometric data. *J Anal At Spectrom*. 2011; 26: 2508–2518.
- Paul B, Paton C, Norris A, Woodhead J, Hellstrom J, Hergt J, Greig A. CellSpace: a module for creating spatially registered laser ablation images within the Lolite freeware environment. *J Anal At Spectrom*. 2012; 27: 700–706.
- Pazdur A, Goslar T, Pawlyt M, Hercman H, Gradzinski M. Variations of isotopic composition of carbon in the karst environment from southern Poland, present and past. *Radiocarbon*. 1999; 41 (1): 81-97.
- Pearson JA, Hedges RE, Molleson TI, Özbek M. Exploring the relationship between weaning and infant mortality: An isotope case study from Aşıklı Höyük and Çayönü Tepesi. *Am J Phy Anthropol*. 2010; 143: 448–457.
- Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world map of the Koeppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2007; 11: 1633-1644.
- Perizonius W, Pot T. Diachronic dental research on human skeletal remains excavated in the Netherlands, I: Dorestad's cemetery on the Heul. RBO; 1981.
- Petersen A. The Archaeology of Death and Burial in the Islamic World. In: Nilsson Stutz L, Tarlow S, editors. *The Oxford Handbook of the Archaeology of Death and Burial*; 2013. pp. 241-258.
- Phillips DL, Gregg JW. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecol*. 2003; 136 (2): 261-269.

Pöhl W. Introduction: strategies of distinction. In: Pöhl W, Reimitz H, editors. *Strategies of Distinction: The Construction of Ethnic Communities*, 300-800, Leiden, 1998. pp. 1-15.

Polet C, Katzenberg MA. Reconstruction of the diet in a mediaeval monastic community from the coast of Belgium. *J Archaeol Sci.* 2003; 30: 525-533.

Prevedorou E, Díaz-Zorita Bonilla M, Romero A, Buikstra JE, de Miguel Ibáñez MP, Knudson KJ. Residential mobility and dental decoration in Early Medieval Spain: results from the eighth century site of Plaza del Castillo, Pamplona. *Dental Anthropology.* 2010; 23 (2): 42-52.

Price TD, Bentley RA, Luning J, Gronenborn D, Wahl J. Prehistoric human migration in the Linearbandkeramik of Central Europe. *Antiquity.* 2001; 75 (289): 593-603.

Price TD, Burton JH, Bentley RA. The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. *Archaeometry.* 2002; 44: 117-136.

Price TD, Grupe G, Schrotter P. Reconstruction of migration patterns in the Bell Beaker Period by stable strontium isotope analysis. *Appl Geochem.* 1994a; 9 (4): 413-417.

Price TD, Johnson CM, Ezzo JA, Ericson J, Burton JH. Residential mobility in the prehistoric Southwest United-States e a preliminary-study using strontium isotope analysis. *J Archaeol Sci.* 1994; 21 (3): 315-330.

Price TD, Johnson CM, Ezzo JA, Ericson J, Burton JH. Residential mobility in the prehistoric Southwest United-States e a preliminary-study using strontium isotope analysis. *J Archaeol Sci.* 1994; 21 (3): 315-330.

Price TD, Grupe G, Schroter P. Migration in the Bell Beaker period of central Europe. *Antiquity.* 1998; 72 (276): 405-411.

Price TD, Kavanagh M,. Bone composition and the reconstruction of diet: examples from the Mid-Western United States. *Midcontinental Journal of Archaeology*. 1982; 7: 61-79.

Price TD, Manzanilla L, Middleton WD. Immigration and the ancient city of Teotihuacan in Mexico: a study using strontium isotope ratios in human bone and teeth. *J Archaeol Sci*. 2000; 27 (10): 903-913.

Prowse TL, Schwarcz HP, Garnsey P, Knyf M, Macchiarelli R, Kondioli L. Isotopic evidence for age-related immigration to imperial Rome. *Am J Phys Anthropol*. 2007; 132, 510-519.

Quirós Castillo JA. Early medieval landscape in north-west Spain: local powers and communities, fifth-tenth centuries. *Early medieval Europe*. 2011; 19 (3): 285-311.

Quirós Castillo JA. Los comportamientos alimentarios del campesinado medieval en el País Vasco y su entorno (siglos VIII-XIV). *Historia Agraria*. 2013a; 59: 13-41.

Quirós Castillo JA. Identidades y ajuares en las necrópolis Alto Medievales. Estudios isotópicos del cementerio de San Matín de Dulantzi, Alava (siglos VI-X). *Archivo Español de Arqueología*. 2013b; 86, 215-232.

Quirós Castillo JA. La génesis del paisaje medieval en Álava: la formación de la red aldeana. *Arqueología y Territorio Medieval*. 2006; 13 (1): 49-83.

Quirós Castillo JA Inequality and social complexity in peasant societies. Some approaches to early medieval north-western Iberia. In: Quirós Castillo JA, editors. *Social complexity in early medieval rural communities. The north-western Iberia archaeological record*. Oxford: Archaeopress Archaeology; 2016. pp. 1-16.

Quirós Castillo JA, Loza Uriarte M, Niso Lorenzo J. Identidades y ajuares en las necrópolis altomedievales. Estudios isotópicos del cementerio de Dultanzi (siglos VI-VII) *Archivo Español de Arqueología*. in press.

Quirós Castillo JA, Vigil-Escalera A. Dove sono i visigoti? Cimiteri e villaggi nella Spagna centrale nei secoli VI - VII. In: Ebanista C, Rotili M, editors. Archeologia e Storia delle migrazioni. Europa, Italia, Mediterraneo fra tarda età romana e Alto Medioevo, Cimitile, 2011. pp. 159-181.

Reimer PJ, Baillie MGL, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Ramsey CB, Buck CE, Burr GS, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hajdas I, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, McCormac FG, Manning SW, Reimer RW, Richards DA, Southon JR, Talamo S, Turney CSM, van der Plicht J, Weyhenmeyer CE. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0.50.000 years cal BP. Radiocarbon. 2009; 51 (4): 1111-1150.

Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Grootes PM, Guilderson TP, Haflidason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP. Radiocarbon. 2013; 55 (4): 1869-1887.

Reinhard K. Coprolite analysis: the analysis of ancient human feces for dietary data. In: Ellis L, editor. Archaeological method and Theory: An encyclopedia. Nebraska: University of Nebraska-Lincoln; 2000. pp. 124-132.

Reitsema LJ, Crews DE, Polcyn M. Preliminary evidence for medieval polish diet from carbon and nitrogen stable isotope. J Archaeol Sci. 2010; 37 (7): 1413–1423.

Reitsema LJ, Muir AB. Brief communication: Growth velocity and weaning $\delta^{15}\text{N}$ “dips” during ontogeny in *Macaca mulatta*. Am J Phys Anthropol. 2015; 157: 347-357.

Reitsema LJ, Vercellotti G. Stable isotope evidence for sex and status-based variations in diet and life history at medieval Trino Vercellese, Italy. Am J Phys Anthropol. 2012; 148: 589-600.

Reyes-Gasga J, García-García R, Arellano-Jiménez MJ, Sanchez-Pastenes E, Tiznado-Orozco GE, Gil-Chavarria IM, Gómez-Gasga G. Structural and thermal behaviour of human tooth and three synthetic hydroxyapatites from 20 to 600 C. *J Phys D: Appl Physics*. 2008; 41 (22): 225-407.

Reynard B, Lecuyer C, Grandjean P. Crystal-chemical controls on rare earth element concentrations in fossil biogenic apatites and implications for paleoenvironmental reconstruction. *Chem Geol*. 1999; 155: 233–241.

Richards MP. Human consumption of plant foods in the British Neolithic: direct evidence from bone stable isotopes. In: Fairbairn AS, editors. *Plants in Neolithic Britain and Beyond*. Oxford: Oxbow Books; 2000. pp. 123-135.

Richards MP, Fuller BT, Molleson TI. Stable isotope paleodietary of humans and fauna from the multi-period (Iron Age, Viking and Late Medieval) site of Newark Bay, Orkney. *J Archaeol Sci*. 2006; 33: 122-131.

Richards M, Harvati K, Grimes V, Smith C, Smith TM, Hublin JJ, Karkanas P, Panagopoulou E. Strontium isotope evidence of Neanderthal mobility at the site of Lakonis, Greece using laser-ablations PIMMS. *J Archaeol Sci*. 2008; 35 (5): 1251–1256.

Richards MP, Hedges REM. Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by Late Mesolithic humans at sites along the Atlantic coast of Europe. *J Archaeol Sci*. 1999; 26: 717-722.

Richards MP, Mays S, Fuller BT. Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the medieval Wharram Percy Site, Yorkshire, UK. *Am J Phys Anthropol*. 2002; 119: 205-210.

Richards MP, Taylor G, Steele T, McPherron SP, Soressi M, Jaubert J, Orschiedt, Mallye JB, rendu W, Hublin JJ. Isotopic dietary analysis of a Neanderthal and associated fauna from the site of Jonzac (Charente-maritime), France. *J Hum Evol*. 2008; 55(1): 179-185.

Robson HK, Andersen SH, Clarke L, Craig OE, Gron KJ, Jones AKG, et al. Carbon and nitrogen stable isotope values in freshwater, brackish and

marine fish bone collagen from Mesolithic and Neolithic sites in central and northern Europe. *Environ Archaeol*; 2015.

Rodríguez Fernández LR, López Olmedo F, Oliveira JT, Medialdea T, Terrinha P, Matas J, et al. (2015). Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1.000.000. IGME, Madrid; 2015.

Rosy M, Azambre B, Albarède F. REE and Sr/1bNd isotope geochemistry of the alkaline magmatism from the Cretaceous North Pyrenean Rift Zone (France- Spain). *Cheml Geol*. 1992; 97 (1-2): 33-46.

Rozanski K, Araguas-Araguas L, Gonfiantini R. Isotopic pattenrs in modern global precipitation. *Geophysical Monograph*, 1993; 78: 1-36.

Safran JM. *Defining Boundaries in al-Andalus: Muslims, Christians, and Jews in Islamic*. New York: Cornel University Spress; 2013.

Salas-Salvadó J, Huetos-solano Maria D, Garcia-Lorda Pilar, Bullo Monica. Diet and dietetics in al-Andalus. *Brit J Nutr* 2006; 96 (1): S100-S114.

Salazar-Garcia DC, Aura JE, Olaria CR, Talamo S, Morales JV, Richards MP. Isotope evidence of the use of marine resourcs in the Eastern Iberian Mesolithic. *J. Archaeol. Sci*. 2014; 42:231-240.

Salazar-García DC, Romero A, García-Borja P. Subirá ME, Richards MP. A combined dietary approach using isotope and dental buccal-microwear analysis of human remains from the Neolithic, Roman and Medieval periods from the archaeological site of Tossal de les Basses (Alicante, Spain). *J Archaeol Sci: Reports*. 2016; 6: 610-619.

Sandford MK. *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses*. Langhorne: Gordon and Breach; 1993.

Sanford M, Weaver D. Trace element research in anthropology: new perspectives and challenges, In: Katzenberg M, Saunders S, Editors. *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. New York: Wiley-Liss; 2000. pp. 329–350.

- Sarasa E. Los sistemas alimentarios en el reino de Aragón (siglos XII-XV). Col.loqui d'història de l'alimentació a la Corona d'Aragó. Actes 1995; 1: 185–204.
- Schoeninger MJ. Diet and status at Chalcatzingo: Some Empirical and Technical aspect of strontium analysis. *Am J Phys Anthropol.* 1979; 51: 295-310.
- Schoeninger MJ. Stable isotope studies in human evolution. *Evol Anthropol.* 1995; 4(3): 83-98.
- Schoeninger MJ, DeNiro MJ. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochim Cosmochim Acta.* 1984; 48: 625-639.
- Schoeninger MJ, DeNiro MJ, Tauber H. Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science.* 1983; 220: 1381-1383.
- Schoeninger M.J, Moore K, Bone stable isotope studies in archaeology. *J. World Prehist.* 1992; 6: 247-296.
- Schurr MR, Powell ML. The role of changing childhood diets in the prehistoric evolution of food production: an isotopic assessment. *Am J Phys Anthropol.* 2005; 126: 278-294
- Schurr MR. Stable Nitrogen Isotopes as Evidence for the Age of Weaning at the Angel Site: A Comparison of Isotopic and Demographic Measures of Weaning Age. *J Archaeol Sci.* 1997; 24 (10): 919-927.
- Schwarcz HP Chronometric dating in archaeology; a review. *Acc Chem Research.* 2002; 35 (8): 637-643.
- Schwarcz HP, Schoeninger MJ. Stable isotope analyses in human nutritional ecology. *Yearb Phys Anthropol.* 1991; 34: 283-321.
- Schwarcz HP, Schoeninger MJ Stable isotopes of carbon and nitrogen as tracers for paleodiet reconstruction. In: Baskaran M, editors. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Advances in Isotope Geochemistry.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2011. pp. 725-742.

Schweissing MM, Grupe G. Stable strontium isotopes in human teeth and bone: a key to migration events of the late Roman period in Bavaria. *J Archaeol Sci.* 2003; 30 (11): 1373-1383.

Sealy J. Body tissue chemistry and Palaeodiet. In: Brothwell DR, Pollard AM, editors. *Handbook of Archaeological Science*. Chichester: John Willey and Sons; 2001. pp. 269-279.

Sealy J. Diet, mobility, and settlement pattern among Holocene hunter gatherers in southernmost Africa. *Curr Anthropol.* 2006; 47 (4): 569-595.

Sealy J, Armstrong R, Schrire C. Beyond lifetime averages: tracing life histories through isotopic analysis of different calcified tissues from archaeological human skeletons. *Antiquity.* 1995; 69 (263): 290-300.

Sealy JC, van der Merwe NJ, Sillen A, Kruger FJ, Krueger HW. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as a dietary indicator in modern and archaeological bone. *J Archaeol Sci.* 1991; 18 (3): 399-416.

Semhi K, Clauer N, Probst JL. Strontium isotope compositions of river waters as records of lithology-dependent mass transfers: the Garonne river and its tributaries (SW France). *Chem Geol.* 2000; 168 (3-4): 173-193.

Serrano Peña JL, Jimenez Morillas Y, Alcalá Lirio F, Cano Carrillo J. Intervención arqueológica de urgencia en la Calle A del SUNP1 de Marroquíes Bajos (Jaén). *Archivo de la Delegación Provincial de Cultura de Jaén*, 2000.

Sesma A. Aproximación al estudio del régimen alimentario del reino de Aragón en los siglos XI y XII. In: Ubieto A, editors. *Homenaje a Miguel Lacarra en su jubilación del profesorado II*. Zaragoza: Anubar; 1977. pp. 55-78.

Shahack-Gross R, Marshall F, Weiner S. Geo-ethnoarchaeology of pastoral sites: the identification of livestock enclosure in abandoned Maasai settlements. *J Archaeol Sci.* 2003, 20: 439-459.

Shatzmiller M. *Labour in the Medieval Islamic World*. Netherlands: Brill; 1994.

Shaw BJ, Summerhayes GR, Buckley HR, Baker JA, The use of strontium isotopes as an indicator of migration in human and pig Lapita populations in the Bismarck Archipelago, Papua New Guinea. *J Archaeol Sci*. 2009; 36 (4): 1079-1091

Shemesh A. Crystallinity and diagenesis of sedimentary apatites. *Geochim Cosmochim Acta* 1990; 54 (9): 2433-2438.

Sillen A, Hall G, Armstrong R. Strontium calcium ratios (Sr/Ca) and strontium isotopic ratios ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) of *Australopithecus robustus* and *Homo* sp. from Swartkrans. *J Hum Evol*. 1995; 28: 277-285.

Sillen A, Hall G, Richardson S, Armstrong R. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in modern and fossil food-webs of the Sterkfontein Valley: implications for early hominid habitat preference. *Geochim Cosmochim Acta*. 1998; 62: 2463-2473.

Sillen A, Kavanagh M Strontium and paleodietary research: A review. *Yearb Phys Anthropol*. 1982; 25: 67-90.

Sirignano, C, Sologestoa, I G, Ricci, P, García-Collado, M I, Altieri, S, Castillo, J A Q and Lubritto, C. Animal husbandry during Early and High Middle Ages in the Basque Country (Spain). *Quaternary Int*. 2014; 346: 138–148.

Šlaus M. Biocultural analysis of sex differences in mortality profiles and stress levels in the late medieval population from Nova Raca, Croatia. *Am J Phys Anthropol*. 2000; 111 (2): 193-209.

Šlaus M, Kollmann D, Novak SA, Novak M. Temporal Trends in Demographic Profiles and Stress Levels in Medieval (6th-13th Century) Population Samples from Continental Croatia. *Croatian Medical Journal*. 2002; 43 (5): 598-605.

Slovak NM, Paytan A. Applications of Sr Isotopes in Archaeology. In: Baskaran M. editors. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*,

Advances in Isotope Geochemistry Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2011. pp.743-768.

Smith BH. Standards of human tooth formation and dental age assessment. In: Kelley MA, Larsen CS, editors. Advances in dental anthropology. New York: Wiley-Liss; 1991. pp. 143-168.

Smith BN, Epstein S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiol.* 1971; 47: 380-384.

Solana Sáinz JM, Sagredo San Eustaquio L. La política edilicia viaria en Hispania durante el reinado de Adriano. *Hispania Antiqua* 2006; 30: 35-86.

Speakman RJ, Neff H. Laser ablation ICP-MS in Archaeological Research. Albuquerque: University of New Mexico Press; 2005.

Stephan E. Oxygen isotope analysis of animal bone phosphate: method refinement, influence of consolidants, and reconstruction of palaeotemperatures for Holocene sites. *J Archaeol. Sci.* 2000; 25: 523–535.

Stuart-Williams H, Schwarcz HP. Oxygen isotopic determination of climatic variation using phosphate from beaver bone, tooth enamel and dentine. *Geochim Cosmochim Acta.* 1997; 61: 2539-2550.

Stuiver M, Reimer PJ, Reimer RW. (2017) CALIB 7.1 [WWW program] at <http://calib.org>, accessed 2017-4-10.

Stutz LN, Tarlow S. *The Oxford Handbook of the Archaeology of Death and Burial.* Oxford: Oxford University Press; 2013.

Tanaka T, Maki K, Hayashida Y, Kimura M. Aluminium concentrations in human deciduous enamel and dentin related to dental caries. *J Trade Elem Med Biol.* 2004; 18: 149.

Teruel JD, Alcolea A, Hernandez A, Ortiz AJ. Comparison of chemical composition enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch Oral Biol.* 2015; 60: 768–775.

Tichomirowa M, Heide C, Junghans M, Haubrich F, Matschullat J. Sulfate and strontium water source identification by O, S and Sr isotopes and their temporal changes (1997-2008) in the region of Freiberg, central-eastern Germany. *Chem Geol.* 2010; 276: 104-118.

Tieszen LL, Boutton TW. Stable carbon isotopes in terrestrial ecosystem research. In: Rundel, PW, Ehleringer JR, Nagy KA, editors. *Stable isotopes in ecological research. Ecological Studies Series.* New York: Springer; 1988. pp. 176-195.

Tocheri MW, Dupras TL, Sheldrick P, Molto JE. Roman period fetal skeletons from the east cemetery (Kellis 2) of Kellis, Egypt. *Int J Osteoarchaeol.* 2005; 15 (5): 326-341.

Tomás MS. (2009) El uso terapéutico de la alimentación en la Baja Edad Media. In: Arízaga B, Solórzano JA, editors. *Alimentar la ciudad en la Edad Media. Logroño: Instituto de Estudios Riojanos; 2009. pp. 459-490.*

Trotter JA, Eggins SF. Chemical systematics of conodont apatite determined by laser ablation ICPMS. *Chem Geol.* 2006; 233 (3-4): 196-216.

Trueman CN. Forensic geology of bone mineral: geochemical tracers for postmortem movement of bone remains. In: Pye K, Croft DJ, editors. *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Application.* London: Geological Society; 2004. pp. 249-256.

Trueman CN, Tuross N. Trace elements in recent and fossil bone apatite. *Rev. Mineral. Geochem.* 2002; 48: 489-521.

Tütken T, Furrer H, Vennemann TW. Stable isotope compositions of mammoth teeth from Niederweiningen, Switzerland: implications for the Late Pleistocene climate, environment and diet. *Quaternary Int.* 2007; 164-165:139-150.

Tütken T, Vennemann TW. Pfretzschner H-U Nd and Sr isotope compositions in modern and fossil bones - proxies for vertebrate provenance and taphonomy. *Geochim Cosmochim Acta.* 2011; 75: 5951-5970.

Tvinnereim HM, Eide R, Riise T. Heavy metals in human primary teeth: some factors influencing the metal concentrations. *Sci. Total Environ.* 2000; 255: 21–27.

Tvinnereim HM, Eide R, Riise T, Fosse G, Wesenberg GR. Zinc in primary teeth from children in Norway. *Sci. Total Environ.* 1999; 226 (2–3): 201–212.

Valenti M. Ma i 'Barbari' sono veramente arrivati in Italia? In: Volper G, Favia P, editors. Firenze: V Congresso Nazionale di Archeologia Medievale; 2009. pp. 25-30.

Van der Merwe NJ, Medina E. The canopy effect, carbon isotoperatios and foodwebs in Amazonia. *J Archaeol Sci.* 1991;18 (3): 249-259.

Van der Merwe NJ, Thackeray JF, Lee-Thorp JA, Luyt J. The carbon isotope ecology and diet of *Asutralopithecus africanus* at Sterkfontein, South Africa. *J Hum Evol.* 2003; 44: 581-597.

Van der Merwe, NJ. Carbon isotopes, photosynthesis, and archaeology. *Am Sci.* 1982; 70: 596-606.

Vaucher A. La espiritualidad del occidente medieval: (siglos VIII-XII). Madrid: Catedra; 1985.

Voerkelius S, Lorenz GD, Rummel S, Quérel CR, Heiss G, Baxter M. Strontium isotopic signatures of natural mineral waters, the reference to a simple geological map and its potential for authentication of food. *Food Chem.* 2010; 118 (4): 933-40.

Vogel JC. Isotopic assessment of the dietary habits of ungulates. *S Afr J Sci.* 1978; 74: 298-301.

Walker PL, DeNiro MJ. Stable nitrogen and carbon isotope ratios in bone collagen as indices of prehistoric dietary dependence on marine and terrestrial resources in southern California. *Am J Phys Anthropol.* 1986; 71: 51-61.

Ward-Perkins B. La caída de Roma y el fin de la civilización. Madrid: Espasa-Calpe; 2007.

West JB, Hurley JM, Dudas FO, Ehleringer JR. The stable isotope ratios of Marijuana. II. Strontium isotopes relate to geographic origin. *J Forensic Sci.* 2009; 54: 1261-1269.

White WM. *Geochemistry*. New York: Wiley Backwell; 2013.

White WM. *Isotope Geochemistry*. Chichester: Wiley-Blackwell; 2015.

White T, Black M, Folkens P. *Human osteology*. San Diego: Academic Press; 1991.

White WM, Hofmann AW. Sr and Nd isotope geochemistry of oceanic basalts and mantle evolution. *Nature*. 1982; 296:821-825.

White CD, Longstaffe FJ, Spence MW, Law K. Tsetting the nature of teotihuacan imperialism at kaminaljuyu using phosphate oxygen-isotope ratios. *J Anropol Res.* 2000; 56:535-558.

White CD, Price TD, Longstaffe FJ. Residential histories of the human sacrifices at the Moon Pyramid, Teotihuacan: evidence from oxygen and strontium isotopes. *Anc Antiq.* 2007; 13: 217-236.

White CD, Spence Mw, Longstaffe FJ. Geographic identities of the sacrificial victims at the Feathered Serpent Pyramid: implications for the nature of state power. *Lat Am Antiq.* 2002; 13:217-236.

White CD, Spence MW, Longstaffe FJ. Demography and ethnic continuity in the Tlailotlacan enclave of Teotihuacan: the evidence from stable oxygen isotopes. *J Anthropol Archaeol.* 2004b; 23: 385-403.

White CD, Spence MW, Stuart-Williams HLQ, Schwarcz HP. Oxygen isotopes and the identification of geographical origins: the Valley of Oaxaca versus the Valley of Mexico. *J Archaeol Sci.* 1998; 25: 643-655.

White CD, Storey R, Longstaffe FJ, Spence MW. Immigration, assimilation and status in the ancient city of teotihuacan: stable isotopic evidence from Tlajinga 33. *Lat Am Antiq.* 2004a; 15: 176-198.

Wickham C. *Una historia nueva de la Alta Edad Media*. Barcelona: Crítica; 2008.

Williams JS, White CD, Longstaffe FJ. Trophic level and macronutrient shift effects associated with the weaning process in the postclassic Maya. *Am J Phys Anthropol.* 2005; 128: 781-790.

Woolgar CM, Serjeantson DY, Waldron T. Food in medieval England. Diet and nutrition. Oxford: Oxford University Press; 2006.

Workshop of European Anthropologist. Recommendations for age and sex diagnosis of skeletons. *J Hum Evol.* 1980; 9: 517-549.

World Health Organization. Trace elements in human nutrition and health, Geneva, 1996.

Wright LE, Schwarcz HP. Infrared and isotopic evidence for diagenesis of bone apatite at Dos Pilas, Guatemala: palaeodietary implications. *J Archaeol Sci.* 1996; 23 (6): 933-944.

Wright LE, Schwarcz HP. Stable carbon and oxygen isotopes in human tooth enamel: identifying breastfeeding and weaning in prehistory. *Am J Phys Anthropol.* 1998; 106: 1-18.

Wright LE, Schwarcz HP. Correspondence between stable carbon, oxygen and nitrogen isotopes in human tooth enamel and dentine: infant diets at Kaminaljuyú. *J Archaeol Sci.* 1999; 26: 1159-1170.

Zaouali L. Medieval cuisine of the Islamic world. Berkeley: University of California Press; 2007.

Zazzo A, Smith GR, Patterson WP, Dufour E. Life history reconstruction of modern and fossil sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) by oxygen isotopic analysis of otoliths, vertebrae, and teeth: Implication for paleoenvironmental reconstructions. *Earth Planet Sci Lett.* 2006; 249: 200-215.

Zlateva B, Djingova R, Kuleff I. On the possibilities of ICP-AES for analysis of archaeological bones, *Central Eur. Sci J.* 2003; 201-221.

Zuluaga MC, Alonso-Olazabal A, Olivares M, Ortega L, Murelaga X, Bienes JJ, Sarmiento A, Etxebarria N. Classification of glazed potteries from

Christian and Muslim territories (Late Medieval Ages, IX-XIII centuries) by micro-Raman spectroscopy. *J Raman Spectrosc.* 2012; 43: 1811–1816

1. Eranskina:

Argitaratutako artikuluak

LA Ortega, I Guede, MC Zuluaga, A Alonso-Olazabal, X Murelaga, J Niso, M Loza, JA Quirós Castillo. Strontium isotopes of human remains from the San Martín de Dulantzi graveyard (Alegría-Dulantzi, Álava) and population mobility in the Early Middle Ages. *Quaternary International* (2013) 303: 54-63.

I Guede, LA Ortega, MC Zuluaga, A Alonso-Olazabal, JLSolaun, A Azkarate, Iban Sanchez. Isotopic evidences for reconstruction of diet and mobility during village genesis during Medieval Ages in northern Spain: Las Gobas site (Burgos, north Spain). *Archaeological and Anthropological Sciences* (2017) .

I Guede, LA Ortega, MC Zuluaga, A Alonso-Olazabal, X Murelaga, M Pina, FJ Gutierrez, P Iacumin. Isotope analyses to explore diet and mobility in a medieval Muslim population at Tauste (NE Spain). *PlosOne* (2017) doi.org/10.1371/journal.pone.0176572.

I Guede, MC Zuluaga, LA Ortega, A Alonso-Olazabal, X Murelaga, M Pina, FJ Gutierrez. Analyses of human dentine and tooth enamel by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) to study the diet of medieval Muslim individuals from Tauste (Spain). *Microchemical Journal* 130 (2017) 287–294.



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Quaternary International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/quaint

Strontium isotopes of human remains from the San Martín de Dulantzi graveyard (Alegría-Dulantzi, Álava) and population mobility in the Early Middle Ages



Luis Angel Ortega^{a,*}, Iranzu Guede^a, María Cruz Zuluaga^a, Ainhoa Alonso-Olazabal^a, Xabier Murelaga^b, Javier Niso^c, Miguel Loza^c, Juan Antonio Quirós Castillo^d

^a Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco-UPV/EHU, Sarriena s/n, 48940 Leioa, Vizcaya, Spain

^b Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco-UPV/EHU, Sarriena s/n, 48940 Leioa, Vizcaya, Spain

^c Arqueología Iberide SC, Pasaje San Pedro nº 11ª Izda, Vitoria-Gasteiz, Spain

^d Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Facultad de Letras, Universidad del País Vasco-UPV/EHU, Tomas y Valiente s/n, E-01006 Vitoria-Gasteiz, Spain

ARTICLE INFO

Article history:
Available online 11 February 2013

ABSTRACT

Strontium isotope analysis of human remains from San Martín de Dulantzi (Alegría-Dulantzi, Álava, Spain) graveyard has been used to establish mobility patterns during the Early Middle Ages. Some archaeological human remains had Germanic grave goods. Through radiogenic strontium isotope analysis, local origin individuals and immigrants were differentiated. Archaeological human bone samples exhibit $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.707779\text{--}0.70802$ values similar to domestic fauna isotope composition, indicating local origin of individuals or long residence time in the region. Comparing these data with tooth enamel values, two groups of immigrants from distinctive geological environment were established. The Dulantzi population constituted mainly a local society with influxes of immigrants. The foreign individuals are distributed through the studied period of time, suggesting that migration movements were limited in number. Isotopic signatures indicating mainly local individuals, linked to grave goods with archaeological attribution to Germanic origin, question the previous ethnic paradigm.

© 2013 Elsevier Ltd and INQUA. All rights reserved.

1. Introduction

The study of the role of German migrations during the disintegration of the Roman Empire and the transformation of Roman society during the Early Medieval period has seen renewed interest in recent decades, because the implementation and generalization of new analytical techniques has transformed interpretative frameworks. In recent years, revisions carried out by some scholars downplayed the impact of the Germanic migrations, even extending to denying them, whereas some central European researchers had revisited the ethnogenesis paradigm and redefined the historic events in terms of systemic transformation processes (Pöhl, 1998; Gillett, 2006; Castellanos, 2007; Hakenbeck, 2008; Heather et al., 2010; Hakenbeck, 2011; James, 2011). However, in the archeology of southern Europe the disruptive approach that gives a remarkable role to Germanic migrations prevails (Valenti, 2009). This explains

the effect of cultural historicism which defined ethnic groups as historical subjects identifiable based on cultural material, thereby allowing the definition of migration flows due to the spatial distribution of the diagnostic objects. Therefore, the grave goods found in cemeteries and other markers, such as architectures and wares, allow identification of immigrants (Brogiolo and Chavarría Arnau, 2008).

In recent years, several research projects have been started up across Europe, seeking to verify the real impact of migration and the historical role of Germanic elites by means of strontium isotope analysis of archaeological human remains, in particular those individuals buried with Germanic grave goods. However, these studies do not assist in the cases of individuals buried without Germanic grave goods, a situation corresponding to most burials even in so-called "Germanic cemeteries" (Quirós Castillo and Vigil-Escalera, 2011). Therefore the study of rural communities with "Germanic cemeteries" in a broad time frame will allow establishment of mobility patterns and detect the presence or absence of mass migrations in the Middle Ages.

* Corresponding author.
E-mail address: luis.ortega@ehu.es (L.A. Ortega).

Isotopic evidence for the reconstruction of diet and mobility during village formation in the Early Middle Ages: Las Gobas (Burgos, northern Spain)

Iranzu Guede¹ · Luis Angel Ortega¹ · Maria Cruz Zuluaga¹ · Ainhoa Alonso-Olazabal¹ · Xabier Murelaga² · José Luis Solaun³ · Iban Sanchez³ · Agustín Azkarate³

Received: 27 December 2016 / Accepted: 19 May 2017
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017

Abstract Strontium, carbon, and nitrogen isotopes of human bone and tooth remains have been used to reconstruct residential mobility and diet of early medieval populations at Las Gobas from the sixth to eleventh centuries. Most non-local individuals correspond to the tenth to eleventh centuries and were mostly women and infants. This residential mobility coincided with the formation of Laño village and the abandonment of artificial cave settlement. Carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen indicate an omnivorous homogenous diet based on terrestrial plant resources, with few animal-derived proteins from livestock. Millet consumption was restricted to an earlier period of time (seventh to ninth centuries); and in later periods (tenth to eleventh centuries), mainly C₃ plants such as wheat and barley were consumed. In general, there were no dietary differences between individuals according to sex or age. Sex-related dietary differences have only been observed in the tenth to eleventh centuries, when females consumed a more vegetarian diet and less animal protein. The higher $\delta^{15}\text{N}$ values in infants reflect the weaning effect, while the differences in $\delta^{15}\text{N}$ values between young adult men and young adult women can be explained as a physiological factor related to pregnancy or different origins. In a comparison with contemporaneous medieval populations in the northern Iberian Peninsula, both $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values

suggest similar foodstuff resources and diet among Christian and Muslim populations.

Keywords Palaeodietary patterns · Human migration · Rock-hewn dwelling · Middle Age · Northern Iberian Peninsula

Introduction

A profound transformation affecting territorial organization occurred after the collapse of the Roman Empire. In the Cantabrian region of north Spain, the post-Roman landscape showed a high degree of territorial fragmentation with a lack of villages or rural structures. In this historical context, small and dispersed farmsteads and a few rock-hewn dwellings dated in the sixth and seventh centuries have been identified. In the course of the eighth century, a profound transformation of the Cantabrian region landscape started with the creation and gradual expansion of a network of villages (Quirós Castillo, 2009; Quirós Castillo 2011). In the ninth century, the former peasant settlement densification occurred with the creation of true village networks. Unlike in other regions, churches in the Cantabrian region never played a significant role in the formation of village networks. Early medieval churches were constructed once the villages were created and the construction of a church implied new ways of social organization and the exploitation of the territory.

The Las Gobas site consists of cave settlement and adjoining farmsteads. The use of artificial caves has been subject to the most varied interpretations. Traditional historiography has explained such occupations as a phenomenon related to different variables of Christian asceticism (e.g., González Blanco 1993; Monreal 1997; Castellanos 1998; Espinosa 2006). Alternatively, they have been interpreted as farming

✉ Luis Angel Ortega
luis.ortega@ehu.es

¹ Department of Mineralogy and Petrology, Faculty of Science and Technology, UPV/EHU, Leioa, Spain

² Department of Stratigraphy and Palaeontology, Faculty of Science and Technology, UPV/EHU, Leioa, Spain

³ Department of Geography, Prehistory and Archaeology, Faculty of Arts, UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz, Spain

RESEARCH ARTICLE

Isotope analyses to explore diet and mobility in a medieval Muslim population at Tauste (NE Spain)

Iranzu Guede¹, Luis Angel Ortega^{1*}, Maria Cruz Zuluaga¹, Ainhoa Alonso-Olazabal¹, Xabier Murelaga², Miriam Pina³, Francisco Javier Gutierrez³, Paola Iacumin⁴

1 Department of Mineralogy and Petrology, Faculty of Science and Technology, University of the Basque Country-UPV/EHU, Vizcaya, Spain, **2** Department of Stratigraphy and Palaeontology, Faculty of Science and Technology, University of the Basque Country-UPV/EHU, Vizcaya, Spain, **3** "El Patiá" Cultural Association, Cuesta de la Cámara 12, Tauste, Zaragoza, Spain, **4** Department of Physics and Earth Sciences, University of Parma, Parma, Italy

* luis.ortega@ehu.eus



Abstract

The Islamic necropolis discovered in Tauste (Zaragoza, Spain) is the only evidence that a large Muslim community lived in the area between the 8th and 10th centuries. A multi-isotope approach has been used to investigate the mobility and diet of this medieval Muslim population living in a shifting frontier region. Thirty-one individuals were analyzed to determine $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ composition. A combination of strontium and oxygen isotope analysis indicated that most individuals were of local origin although three females and two males were non-local. The non-local males would be from a warmer zone whereas two of the females would be from a more mountainous geographical region and the third from a geologically-different area. The extremely high $\delta^{15}\text{N}$ baseline at Tauste was due to bedrock composition (gypsum and salt). High individual $\delta^{15}\text{N}$ values were related to the manuring effect and consumption of fish. Adult males were the most privileged members of society in the medieval Muslim world and, as isotope data reflected, consumed more animal proteins than females and young males.

OPEN ACCESS

Citation: Guede I, Ortega LA, Zuluaga MC, Alonso-Olazabal A, Murelaga X, Pina M, et al. (2017) Isotope analyses to explore diet and mobility in a medieval Muslim population at Tauste (NE Spain). PLoS ONE 12(5): e0176572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176572>

Editor: Siân E. Halcrow, University of Otago, NEW ZEALAND

Received: October 17, 2016

Accepted: April 12, 2017

Published: May 4, 2017

Copyright: © 2017 Guede et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Funding: Research Group GIU15/34 of the University of the Basque provided support to AAO, XM, Country-UPV/EHU, <http://www.ehu.eus/es/web/ikerkuntza>. IT315-10 Research Group of the Basque Country Government provided support to IGLLO MCZ, <http://www.hezkuntza.ejgv.euskadi.eus/r43-5553/es/>.

Introduction

Muslims invaded most of the Iberian Peninsula in the Early Middle Ages (AD 711) and remained for the next seven centuries, until 1492 when the Christian Kingdoms totally reconquered the peninsula. The northern frontier of the country captured by the Muslims, known as al-Andalus, extended eastward on the southern slopes of the Cantabrian range from the present Galicia to Catalonia. Following the Muslim conquest, al-Andalus was at first (711–750) a province of the Umayyad Caliphate centered on Damascus. From 740 a series of civil wars between various Muslim groups resulted in the breakdown of the Arab empire and the Emirate of Cordova (c. 750–929) emerged. In 929 the emir of Cordova proclaimed himself Caliph and the period of the Caliphate of Cordova was established (929–1031). The Cordova



Analyses of human dentine and tooth enamel by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) to study the diet of medieval Muslim individuals from Tauste (Spain)



Iranzu Guede^a, Maria Cruz Zuluaga^a, Luis Angel Ortega^{a,*}, Ainhoa Alonso-Olazabal^a, Xabier Murelaga^b, Miriam Pina^c, Francisco Javier Gutierrez^c

^a Dept. Mineralogy and Petrology, Science and Technology Fac., UPV/EHU, Spain

^b Dept. Stratigraphy and Palaeontology, Science and Technology Fac., UPV/EHU, Spain

^c "El Pañaz" Cultural Association, Casa de la Camara, 12, 50660 Tauste, Zaragoza, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 July 2016

Received in revised form 3 October 2016

Accepted 4 October 2016

Available online 06 October 2016

ABSTRACT

Trace elements have been analysed in 23 tooth enamel and dentine samples from a Muslim population in Tauste (North Spain) to investigate health and palaeodietary patterns during the 8th–10th centuries. LA-ICP-MS technique was used to determine the chemical composition of teeth. Post-burial alteration was established by REE and U high content ($1 > \mu\text{g/g}$) and several samples, mainly of deciduous teeth, were discarded. Trace elements show different behaviour in dentine and enamel related to the composition of tissues. Five individuals had high Pb contents (ranging between 2 and $30 \mu\text{g/g}$) suggesting intoxication by occupational exposure to anthropogenic lead. Considering the period of time, individual lead intoxication could be attributed to working activity. Young individuals vs adults, and males vs females show different food intake, probably due to sexual division of labour or social status. The palaeodietary pattern of the Tauste population provides insights into this Muslim community.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Research on residential mobility or diet has been performed in bones and teeth through the development of macroscopic and chemical methods of analysis. In recent decades the use of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) has enabled direct analysis of solid samples using only a small amount of material and minimal sample destruction [1,2]. This minimal destructive nature of the laser ablation technique is essential in archaeological materials and even more so when remains are limited and must be preserved.

LA-ICP-MS provides the distribution of trace elements throughout the skeleton samples. Several factors could affect the elemental composition in bones and teeth, especially in buried samples. In addition to diet, another factor affecting the composition is the remodelling process. Bones are mainly composed of hydroxyapatite and at structural level are remodelled continuously during the individual's life. Teeth are divided into inner pulp cavity, dentine and outer enamel tissues. Dentine is a much softer, has a less mineralized structure and

regenerates constantly; whereas tooth enamel is the hardest material in the human body and is not renewed after forming during childhood, thus fixing the elemental composition in an earlier stage of the individual's life [3,4,5,6,7]. In archaeology, enamel is preferred to determine the chemical composition because it is less likely to be affected by diagenesis and environmental conditions, e.g. [8,9].

In archaeological samples, burial conditions can cause changes in the mineral composition leading to exchange of ions with the environment [10]. The diagenesis effect is crucial in an interpretation of the elemental composition of bones and teeth. The analysis of soils associated with human remains is the best approach to evaluate diagenesis. When soil composition is unknown, a different approach is used to evaluate the diagenesis effect, as the content of rare earth elements and U and Th in teeth and bones are sensitive indicators of diagenesis [11,12,13].

When diagenesis is not a problem, the chemical analysis of enamel and dentine can be directly related to the diet. Thus some elements such as sodium, magnesium, zinc, strontium, barium and lead are directly related to food consumption [14,15,16,17]. In a multi-elemental approach, barium, strontium, manganese and magnesium are prevalent in vegetables while zinc and copper indicate a meat-based diet. Additionally tooth chemical composition allows identification of long-term heavy metal exposure and may provide information about the exposure of an individual to toxic metals (e.g. Cd, Pb) [18,19].

* Corresponding author.

E-mail addresses: iranzi@ehu.es (I. Guede), luis.ortega@ehu.es (L.A. Ortega), xabier.murelaga@ehu.es (X. Murelaga), miriampinapinos@gmail.com (F.J. Gutierrez).

2. Eranskina:

Aurkeztutako artikulak

I Guede, MC Zuluaga, LA Ortega, A Alonso-Olazabal, X Murelaga, I Garcia-Camino, P Iacumin. Social structuration on medieval rural society based on stable isotope analysis of dietary habits and mobility patterns: San Juan de Momoitio (Biscay, North Iberian Peninsula). *American Journal of Physical Anthropology* (Under review).

SOCIAL STRUCTURATION IN MEDIEVAL RURAL SOCIETY BASED ON STABLE ISOTOPE ANALYSIS OF DIETARY HABITS AND MOBILITY PATTERNS: SAN JUAN DE MOMOITIO (BISCAY, NORTH IBERIAN PENINSULA)

Iranzu Guede¹, Maria Cruz Zuluaga¹, Luis Angel Ortega¹, Ainhoa Alonso-Olazabal¹, Xabier Murelaga², Iñaki Garcia Camino³, Paola Iacumin⁴

¹Department of Mineralogy and Petrology, Faculty of Technology and Science, Basque Country University (UPV/EHU), Sarriena sn Leioa 48940, Spain.

²Department of Stratigraphy and Palaeontology, Faculty of Technology and Science, Basque Country University (UPV/EHU), Sarriena sn Leioa 48940, Spain.

³Arkeologi Museoa. BFA/DFB. Calzadas de Mallona, 2, Bilbao 48006, Spain.

⁴Department of Physics and Earth Sciences, University of Parma, Parco Area delle Scienze 157A Parma 43100, Italy.

Number of text pages: 26, number of figures 9, tables 2

Diet and mobility patterns in a medieval peasant community

Keyword stable isotopes, diet, mobility, middle age, rural life, northern Iberian Peninsula.

Iranzu Laura Guede Sagastizabal
Department of Mineralogy and Petrology
Faculty of Science and Tecnology
University of Basque Country
Sarriena s/n
48940 Leioa
Tel: + 34 946 015456



 [Home](#)

 [Author](#)

 [Review](#)

Submission Confirmation

 [Print](#)

Thank you for your submission

Submitted to

American Journal of Physical Anthropology

Manuscript ID

AJPA-2017-00364

Title

SOCIAL STRUCTURATION IN MEDIEVAL RURAL SOCIETY BASED ON STABLE ISOTOPE ANALYSIS OF DIETARY HABITS AND MOBILITY PATTERNS: SAN JUAN DE MOMOITIO (BISCAY, NORTH IBERIAN PENINSULA)

Authors

Guede, Iranzu
Zuluaga , Maria Cruz
Ortega, Luis Angel
Alonso, Ainhoa
Murelaga, Javier
Garcia, Iñaki
Iacumin, Paola

Date Submitted

05-Oct-2017
