
Carpología experimental: replicación de procesos de carbonización de frutos de *Quercus ilex* (según evidencias mesolíticas)

Judith del Río¹

Resumen

Se pretende replicar de forma experimental en laboratorio el proceso de carbonización al que pudieran haber sido sometidos los frutos de encina (*Quercus ilex*) hallados en contextos Epipaleolíticos/Mesolíticos en la Península Ibérica. Para ello los frutos fueron sometidos a sendos tratamientos térmicos: a 200° C durante 15' y a 300° C durante 5. Las dimensiones de cada fruto fueron medidas previa y posteriormente a la carbonización para así poder trazar un índice de diferencias comparativo. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico básico, pudiendo verse variaciones significativas en peso y dimensiones. Los frutos se observaron con lupa binocular, detectándose cambios morfológicos de tipo protrusión de la masa interna, hendiduras y abultamiento de la superficie.

Palabras clave: Carbonización. Tafonomía. Carpología. Epipaleolítico/Mesolítico

Abstract

The aim of this work is to replicate in an experimental way the charring processes that may have occurred to holm oak fruits (*Quercus ilex*) found in Epipalaeolithic/Mesolithic contexts in the Iberian Peninsula. The fruits overcame two different thermal treatments: 200° C for a 15 minutes lapse, and 300° C for 5 minutes. The measurements of each piece were recorded before and after the charring to allow the comparison between both states. Obtained data were used to perform a basic statistical analysis in which we could notice significant changes in weight and measurements. The fruits were then observed under a binocular magnifying glass, by which we saw morphological changes such as protrusion of the internal mass to the exterior, cracking and surface lumps.

Keywords: Charring. Taphonomy. Carpology. Epipalaeolithic/Mesolithic

INTRODUCCIÓN: POR QUÉ EL MESOLÍTICO. POR QUÉ LA ENCINA. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO ARQUEOBOTÁNICO.

El planteamiento inicial de este estudio pretendía acotar el ámbito cronológico a los yacimientos del Paleolítico Medio en el estado español y sus restos arqueobotánicos. La consulta de algunos manuales básicos de la materia, no obstante, remite a un registro muy escaso de bellotas en horizontes anteriores al Epipaleolítico/Mesolítico de la Península (Buxó y Piqué 2008: 40-43); pero ya en esta cronología destacan por su abundancia y trabajos de referencia las cuevas del Levante –Santa Maira y Abric de la Falguera–, un par de la comarca de Osona en Cataluña –Cingle Vermell y Roc del Migdia–, algunas de Euskal Herria –Kampanoste Goikoa, Aizpea, Kobaederra– y, más recientemente excavado, el yacimiento de Parque Darwin en la Comunidad de Madrid (Cuartero Monteagudo, *com per.*). Aunque pueden hallarse restos carpológicos de *Quercus* en épocas anteriores, retrasando su presencia hasta el Magdaleniense, los restos recuperados se dan aún en menor número. Esto no es únicamente debido a su ausencia efectiva, sino también al poco interés que despertaban este tipo de restos hasta hace poco tiempo –cuando las excavaciones estaban centradas en la recolección de artefactos más vistosos de la cultura material o en restos óseos– o a técnicas

¹Universidad Autónoma de Madrid. (UAM). judit.rio@estudiante.uam.es

de recuperación ineficaces (Buxó y Piqué 2008; Zapata y Peña 2013). La base para el proceso que sigue está, por todo ello, en los restos hallados y fotografiados en los yacimientos mencionados, aunque puede ser comparable a momentos anteriores o posteriores con la cautela necesaria.

La elección de la bellota de encina, vino dada tanto por la abundancia como por la representatividad del árbol en la flora ibérica. Además, es notable el aumento de los bosques del género en el momento de transición Pleistoceno-Holoceno, augurando la mejora climática por venir del postglaciar. En el Levante de la Península el *Quercus* sp. sustituye durante el Mesolítico al *Juniperus* sp. como género predominante –aun estando ambos ampliamente representados desde el Magdaleniense y durante la transición holocena en los análisis polínicos de la zona– (Aura *et al.* 2005). El *Quercus ilex*, la encina, se hace con la sucesión del ecosistema típico mediterráneo; aunque otras hipótesis sobre la representatividad de las especies de uno u otro ecosistema son válidas (Aura *et al.* 2005).

Entre los objetivos que perseguirían los procesos de tueste se encuentran tanto la desecación del grano o el fruto para su mejor preservación a lo largo del tiempo como la preparación culinaria, destinada a mejorar el sabor o directamente permitir su consumo. El caso de la bellota está ampliamente documentado tanto de forma etnográfica como en fuentes literarias y mediante la contemplación de prácticas históricas que subsisten aún hoy en día (García y Pereira 2002a, 2002b); el tratamiento de este fruto con calor obedece a la toxicidad en crudo del mismo, cargado de taninos –sustancias de propiedades astringentes que en la planta cumplen funciones de protección frente a los herbívoros, dificultando su digestión; tienen un uso como curtientes si son extraídos de las agallas de las encinas, pero son difícilmente aprovechables si provienen del fruto–. El tostado de la bellota mejora su sabor, permite que su carne sea molida y después preparada para el consumo en forma de torta o gachas y facilita la separación de la cáscara. A este último respecto hay bibliografía interesante que plantea hipótesis sobre el descascarillado previo o posterior al paso de la bellota por el tratamiento térmico (Zapata 2000).

Significa por tanto que la elección de una cronología Epipaleolítica / Mesolítica se justifica por el interés que como período transicional tiene ésta. En el eterno debate acerca del cambio del hombre de una subsistencia recolectora (nómada) a una agrícola (sedentaria) parece tomar cada vez más fuerza una posición intermedia en que se acepta que la explotación de recursos silvestres tenía gran importancia incluso cuando el salto a la producción estaba ya bien asentado. Por ello cabe esperar, más aún ahora que el análisis polínico, carpológico y territorial en Arqueología ha cobrado una entidad propia, que los datos a este respecto sean más y más aclaratorios, no debiendo subestimarse la importancia de éstos. Podrían ser una ayuda importante para la comprensión ampliada de asuntos de tipo económico, social y cultural de grupos prehistóricos como estos mesolíticos, que quedan a caballo entre dos formas de vida –formas, por lo demás, demasiado estereotipadas y enmarcadas en unos contextos binomiales académicamente contruidos con el objetivo de facilitar su estudio: nómadas o sedentarios, recolectores o agricultores, horizontales o jerarquizados, etcétera–.

Que el supuesto cuya replicación se pretende, en tanto que intentará reproducir las condiciones necesarias para la carbonización de restos vegetales, podría alumbrar situaciones similares a las originales; y aportar con ello un ejemplo aproximado en cuanto a, por ejemplo, una posible gestión de residuos domésticos, la manipulación de la materia

prima para mejorar su consumo o el tratamiento previo al almacenaje del fruto –con la polémica que implica, de nuevo, hablar de almacenaje en sociedades nómadas–.

Se asume que cualquier resto vegetal que haya podido ser recuperado en un yacimiento tipo de ambiente seco, como son los más comunes en las zonas meridionales de Europa y por lo tanto en la Península Ibérica, es debido bien a la carbonización, bien a la mineralización o fosilización –frente a los yacimientos de turbera, hielo o desierto, cuyas características especiales proveen a los restos orgánicos de condiciones de conservación excepcionales–. Esta carbonización es el estado final al que se llega tras la exposición de la semilla, fruto o madera al calor del fuego, sea directa o indirectamente. Aunque este incendio pueda ser accidental o erróneo, también se presume que la carbonización es siempre debida a la manipulación humana, pues es imposible, pese a lo generalizado de la expresión, una carbonización espontánea: ello implicaría que el aumento de temperatura alcanzado por los frutos mediante procesos tales como la fermentación o la putrefacción internas bastaría para provocar un estado de ignición; lo cual, sencillamente, es imposible (Buxó 1990).

Es interesante considerar también los macrorrestos vegetales hallados en contextos arqueológicos como restos alimentarios. Esto implicaría, frente a la tradicional consideración del alimento como indicador estrictamente biológico (o sea, ecológico: su escasez o abundancia se asocia a cambios demográficos; se entiende como una expresión del nicho que el hombre ocupa en el sistema que lo acoge; es indicador de paleoclimas; provee información acerca de la cadena trófica; indicador de estacionalidad; etcétera), tratarlo como un elemento cultural más. Esta idea de la comida (a partir de los restos hallados de la misma) como cultura material se basa en su capacidad de «crear y constituir relaciones sociales» (Milner y Miracle 2002). Ello implica la consideración de la misma como un proceso que incluye la recolección, almacenaje o distribución, preparación, consumo y desecho; en lugar de únicamente como un hecho aislado. Es decir: la alimentación entendida como un hecho cultural podría proporcionar datos, igual que lo hace cualquier otro artefacto material al uso, acerca del tipo de organización social de un grupo prehistórico, sus ritos y simbolismo y el estatus de sus individuos. Esta mención sólo pretende ser un alegato a favor de las posibilidades de un estudio de este tipo y una defensa del enriquecimiento del análisis arqueobotánico que supondrían este tipo de estudios; sin ser ello, en modo alguno, lo que se pretende aquí.

PLANTEAMIENTO Y MÉTODO

Recogida de muestras

Siguiendo el modelo ecológico y paisajístico que se propone para los hallazgos del Mesolítico del levante ibérico (Aura *et al.* 2005) se optó por la recogida de frutos salvajes de *Quercus* perennifolio (*Q. ilex* sp. *ballota*). Se retiraron 80 bellotas del monte de Valdelatas –un ejemplo de chaparral o bosque mediterráneo mixto de encinar y pinar de reforestación, con la presencia del resto de flora asociada a este biotopo: majuelo, enebro, tomillo y retama entre otros–, en el término municipal de Madrid-Fuencarral y límite con el campus de Cantoblanco de la Universidad Autónoma de Madrid (coordenadas aproximadas: 40,541399 / -3,689165).

La recolecta se realizó en el mes de marzo, antes de la floración de la encina, lo que implica que los frutos disponibles eran los supervivientes de la temporada anterior –la fructificación de encinas y robles se da en otoño, entre los meses de octubre y noviembre por lo general–. Es decir: se hallaron en el suelo, cubiertos de hojarasca y en ocasiones ligeramente enterrados, y su disponibilidad era bastante escasa, debido a la podredumbre, los procesos de descomposición y la germinación de la mayoría de los ejemplares hay que añadirles el consumo a lo largo del invierno por parte de distintos animales u organismos que tienen en las bellotas una fuente de alimento común.

Esto es relevante a la hora de considerar el estado en que se emplearon para la experimentación: aunque, obviamente, sólo se contó con los frutos bien conservados, es más que probable que las dimensiones y el peso de estos sean menores que los estándares que se darían en condiciones de recogida óptimas, directamente desde el árbol o recién caídos tras su maduración. En cualquier caso, la base de la experimentación es la comparativa entre el estado previo a la carbonización y el posterior, por lo que esta remesa de bellotas, al igual que la especie arbórea de la que han sido obtenidas, es indicativa únicamente como estudio de caso –con las posibilidades de extrapolación o ejemplificación que ello tiene–.

Los frutos fueron conservados, durante el tiempo previo a su tratamiento en el laboratorio, aislados de la luz y en frío, a una temperatura de 5° C y con gel de sílice como antihumectante para prevenir lo más posible su putrefacción, los posibles procesos fungobacteriales o biológicos que estuvieran en curso y conservar su carne en buenas condiciones.

Bellotas: características biológicas y morfológicas

Las bellotas son los frutos del género *Quercus*, que en la Península incluye las especies que se conocen tradicionalmente como encina (*Q. ilex*), roble (*Q. robur*), quejigo (*Q. faginea*), coscoja (*Q. coccifera*), alcornoque (*Q. suber*), melojo (*Q. pyrenaica*) y los robles albar (*Q. petraea*), pubescente (*Q. humilis*) y andaluz (*Q. canariensis*). Otras especies incluyen el roble rojo (*Q. rubra*), oriundo de América y el *Quercus lusitanica*, de porte rastrero.

Los frutos del *Q. ilex* sp. *ballota* son similares a los del resto de especies mencionadas, siendo la morfología característica del género y muy reconocible (Galán Cela *et al.* 1998: 189-190). De longitud variable entre los 15 y los 35 mm y sección cilíndrica, tiene un apuntamiento en el ápice y su extremo basal está cubierto por una cúpula relativamente corta, no sobrepasando un tercio de la longitud del fruto. Esta cúpula está compuesta de escamas planas de colores grisáceos, muy apretadas y suaves al tacto; en ocasiones el borde presenta un ligero abombamiento. Se configura a partir de dos cotiledones (el endocarpio, reserva de nutrientes para el embrión) recubiertos por un pericarpio de color marrón terroso (la cáscara o corteza) al que se adhiere estrechamente la semilla.

Generalmente las bellotas de la subespecie *ilex* son consideradas más amargas que las de *ballota*, aunque esto no tiene mayor importancia aquí por no considerarse las preparaciones culinarias del fruto ni sus cualidades organolépticas.

Procedimiento experimental (I): diseño del experimento y objetivos del mismo

La metodología y desarrollo de este trabajo viene inspirada fundamentalmente por los diversos experimentos que ha dedicado Freek Braadbaart a la carbonización de propágulos (Braadbaart 2004; Braadbaart *et al.* 2004a, 2004b, 2007). En ellos se propone, a grandes rasgos, la variación controlada y sistematizada de temperaturas y tiempos de exposición del fruto al calor para comprobar los cambios que sobrelleva este, los cuales consisten en variaciones tanto físicas como químicas y moleculares. Las dos últimas no serán tenidas en cuenta debido a la complejidad y especificidad de la experimentación y los métodos de observación que serían necesarios para constatarlas, siendo mayoritariamente la variación morfológica externa la que se observará –aunque se han realizado algunas observaciones con lupa binocular del interior de los frutos–; lo cual encaja con la mayoría de los trabajos y experimentaciones realizadas anteriormente para la carbonización de frutos (Braadbaart 2004: 14-16).

Modificando las condiciones de partida de estos experimentos mencionados se pretende comprobar la variación morfológica del fruto pelado en función de la temperatura y el tiempo de exposición a la fuente de calor, en este caso un horno de mufla. Para ello se dividieron los frutos recogidos en dos grupos de veinticinco (25) unidades cada uno, y se trató cada uno a una determinada temperatura durante un tiempo fijado: 200° C durante 15 minutos para el grupo primero y de 300° C durante 5 minutos para el segundo grupo. Para ello se introdujeron en un horno previamente calentado a la temperatura elegida, dentro de recipientes de acero inoxidable y con cubierta –aunque el aporte de oxígeno o las condiciones de mayor o menor anoxia no fueron tenidas en cuenta como variables del experimento; la circulación del aire oxigenado dentro del horno se da por supuesta en mayor o menor medida y la cubrición simplemente limita la exposición directa al calor, regulando de alguna manera el impacto térmico que de otra manera hubiera sido excesivo, teniendo en cuenta la fragilidad y el pequeño tamaño de los frutos–.

Otro grupo más de diez (10) muestras se sometió a una prueba a 100° C durante 30 minutos; y otros dos grupos más de seis (6) y ocho (8) se reservaron para pruebas previas de aproximación y pruebas de carbonización en fuego al aire libre respectivamente. Estos últimos tres grupos, que quedan fuera de la estadística, serán discutidos más adelante junto a la importancia de la experiencia previa a una experimentación.

Por lo tanto: se considera como factor fijo el tratamiento térmico de cada grupo (15 minutos a 200° C y 5 minutos a 300° C) y como variables de respuesta el largo, ancho, grosor y peso de los frutos, que serán estudiados de acuerdo a su variación tras la aplicación del calor.

Este es el objeto básico del procedimiento y estudio realizados: observar las variaciones de dimensión y peso en los frutos sometidos a tratamiento por calor. No obstante puede cifrarse otra utilidad para este trabajo: la comparativa de los datos obtenidos con muestras reales recogidas en sitios arqueológicos y cuya morfología se conserve puede resultar de utilidad a la hora de identificar, por ejemplo, alteraciones térmicas en los restos carpológicos y sus causas. También se pretende compilar una lista bibliográfica que, si no completa, sí es suficientemente relevante a mi juicio para el estudio de la cuestión aquí tratada, la carpología, tanto en su vertiente estrictamente arqueológica como en su tratamiento experimental.

Medición y tratamiento de datos

Para trazar una comparativa entre el estado previo a la carbonización y el subsecuente a ella se han tomado medidas de cada una de las cincuenta bellotas implicadas en el proceso en ambas ocasiones. Para ello se ha utilizado una báscula de precisión y un calibre electrónico, lo que permite una notación de hasta dos decimales y detectar con facilidad cambios pequeños en las medidas. Los frutos fueron descascarillados previamente y pesados sin el pericarpio y se tomaron con el calibre tres índices: la longitud, que conforma el eje longitudinal del fruto, la anchura y el espesor, que suponen la medida transversal tomada en su diámetro más amplio; para sistematizar estos últimos se consideró la medida diametral mayor como la anchura y la menor de las dos el espesor. En los casos en que ambos cotiledones aparecieron separados, generalmente fruto del tratamiento térmico aplicado, se sumaron los respectivos grosores de los cotiledones para obtener un total aproximado –cuyo grado de error no se ha calculado pero que muy probablemente favorezca un diámetro estimado mayor que el real– y de ambos anchos se tomó el mayor como el total del fruto.

La comparación entre las medidas de los frutos en crudo y las que presentaron después de la carbonización se anota como variación de cada una de las diferentes medidas: peso, longitud, anchura y espesor; medidas en gramos y en milímetros.

Con las medidas anteriormente descritas se calcularon un par de índices biométricos que relacionan las distintas variables de cada fruto: longitud sobre anchura ($\text{Ín1} = l/a \times 100$) y espesor sobre anchura ($\text{Ín2} = g/a \times 100$) (Buxó 1997: 61-62).

Se realizaron observaciones con lupa binocular de hasta 5 aumentos (10x el ocular, 16x el aumento más grande de la lente y 0,32 de la cámara fotográfica acoplada; las observaciones serán comentadas más adelante) tanto del estado de la bellota en crudo como posteriormente, en superficie exterior, superficie interior y roturas manuales en los ejes transversal y longitudinal.

Análisis estadístico

Se realizó una aproximación descriptiva a los datos recogidos previa y posteriormente a la carbonización (peso, longitud, anchura y espesor, y los dos índices biométricos indicados) separados conforme a los dos grupos de temperatura. Ello nos informó de la media y la varianza (una medida de la dispersión de los datos en función de la media). También se consultaron los gráficos de normalidad (que permiten ver cómo de ajustada está la distribución de los datos a una recta normal estándar, de media $\mu=0$ y desviación típica $\sigma=1$) y los diagramas de cajas y bigotes (para una comprensión visual de la distribución de los datos según cuartiles).

El procedimiento estadístico para el tratamiento de los datos dimensionales y de peso se inició con la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la determinación de la distribución normal de los datos. Se descartó la longitud como variable ajustada a la normal (Tabla 1). La prueba de Levene para la comprobación de homocedasticidad u homogeneidad de varianzas descartó los datos de anchura y espesor. La razón de la realización de las pruebas anteriores es la comprobación del ajuste de los datos a los criterios requeridos para poder llevar a cabo un ANOVA (análisis de la varianza): la independencia de los datos –lo que es intrínseco al diseño del experimento, dadas las condiciones de aleatoriedad para la selección

de los ejemplares y para su posterior distribución en grupos–, la homocedasticidad y la distribución normal de los datos.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		peso.g	largo.mm	ancho.mm	grosor.mm
N		25	25	25	25
Parámetros normales ^{a,b}	Media	,0516	-,3108	-1,1104	-,9484
	Desviación típica	,02478	1,11622	1,11068	1,11938
Diferencias más extremas	Absoluta	,128	,180	,101	,092
	Positiva	,128	,133	,074	,086
	Negativa	-,112	-,180	-,101	-,092
Test Statistic		,128	,180	,101	,092
Sig. asintót. (bilateral)		,200 ^{c,d}	,036 ^c	,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}

		PESO2	LARGO2	ancho2	grosor2
N		25	25	25	25
Parámetros normales ^{a,b}	Media	,1204	-1,3848	-1,8392	-2,2700
	Desviación típica	,06086	1,44747	,79006	1,00023
Diferencias más extremas	Absoluta	,151	,128	,112	,083
	Positiva	,151	,128	,096	,083
	Negativa	-,124	-,118	-,112	-,076
Test Statistic		,151	,128	,112	,083
Sig. asintót. (bilateral)		,143 ^c	,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}

a. La distribución de contraste es la Normal.
b. Se han calculado a partir de los datos.
c. Lilliefors Significance Correction
d. This is a lower bound ...

Tabla 1: Kolmogorov-Smirnov para distribución normal para las variables de peso y dimensiones en ambos tratamientos (200° C a 15' superior y 300° C a 5' inferior)

En otras palabras, las variables dimensionales no se ajustan a los requisitos de una prueba paramétrica –de mayor robustez estadística y por ello preferida como primera opción a la hora de realizar un análisis–. La variable de peso, en cambio, sí sigue una distribución normal. Por lo tanto se realizaron dos tipos de pruebas para el análisis de los datos obtenidos: paramétricas (ANOVA) y no paramétricas (pruebas de Kruskal-Wallis).

Los datos obtenidos para los índices biométricos anteriormente referidos y sus diferencias (la diferencia del índice biométrico entre bellotas en crudo y bellotas carbonizadas, por separado para el grupo de tratamiento a 200° C y el grupo de tratamiento a 300° C) se sigue un proceso similar. Con la consulta de los estadísticos descriptivos y el test K-S para la comprobación de la distribución normal se descartan $\bar{I}n2$ y $\Delta\bar{I}n2$ (para las medidas en crudo y después del carbonizado a las dos temperaturas), que serán analizados con la prueba Kruskal-Wallis.

La distribución de $\bar{I}n1$ y $\Delta\bar{I}n1$ (para las medidas en crudo y después del carbonizado a las dos temperaturas) se ajusta a la normal. Con la prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas se obtiene resultado negativo para la realización de ANOVA (la significación es mayor que 0,05, el valor máximo que permite el porcentaje de confianza marcado. Se procede, por lo tanto, a realizar pruebas robustas de igualdad de las medias: los test de Welch y de Brow-Forsythe, que permiten la comparación de las varianzas entre el estado previo y posterior a ambos tratamientos sin la necesidad de la homocedasticidad de las mismas. El análisis subsecuente será discutido con el resto de resultados.

El nivel de confianza para el tratamiento de los datos recogidos se marcó en un 95%, lo que implica un nivel de significación del 0,05. El análisis estadístico se realizó con SPSS 19.0 (Lead Technologies 2010, SPS Inc. Chicago, IL, USA).

El objetivo de este tipo de análisis, por lo tanto, consiste en la verificación de las variaciones estadísticas de las modificaciones inducidas por la temperatura y el tiempo de exposición a la fuente de calor en las dimensiones del fruto. Se fundamentan en el análisis de la varianza (ANOVA como prueba paramétrica y Kruskal-Wallis como prueba no paramétrica), tomando como factor fijo el tratamiento térmico (200° C a 15 minutos y 300° C a 5 minutos) y como variables de respuesta el largo, ancho, grosor y peso de los frutos antes y después de someterlos al mismo.

Procedimiento experimental (II): experiencias previas

Aunque hay bibliografía suficiente en la que se habla de una temperatura y tiempo de carbonización mínimos de 300° C durante media hora (por ejemplo los ya citados Braadbaart 2004; Buxó 1997) se realizaron pruebas de aproximación en base a la intuición de que el pequeño tamaño de los frutos podría no necesitar de tanta exposición al tratamiento. Un grupo de cuatro bellotas se sometieron a un tratamiento térmico de 200° C durante quince minutos; una observación superficial de las variaciones de peso y dimensiones confirmó que esa sería la temperatura final para el grupo más amplio que sería tenido en cuenta en los análisis estadísticos. Otras dos fueron sometidas a un tratamiento de 300° C durante cinco minutos con idéntico propósito. Dos más a 300° C durante 10 minutos: su estado pasó de carbón a ceniza, al menos parcialmente en el cuerpo de la bellota, por lo que se fijó el límite para la temperatura de 300° C en 5 minutos.

De cada grupo, dos se introdujeron en la mufla descascarilladas y otras dos vestidas, para verificar cómo afectaba la carbonización a la estructura dimensional y de masa de una u otra manera: aunque las bellotas con cáscara experimentaron también cambios morfológicos suficientemente notables para ser contrastados se optó por realizar el experimento con las frutas peladas debido, primeramente, a que es de esta forma como se encuentran mayoritariamente en el registro arqueológico (Zapata 2000); y en segundo lugar a que las variaciones de peso y dimensiones entre el estado previo y el posterior a la carbonización fueron más acusadas, dando lugar a una diferencia comparativa más amplia.

Otro grupo más de diez frutos fueron sometidos a tratamiento térmico de 100° C, durante treinta minutos, cuyo objetivo era comprobar la sensibilidad de la bellota al calor tomando valores bajos de temperatura. Como era de esperar debido al límite inferior de carbonización anteriormente mencionado (300° C – 30 minutos; o bien las pruebas ya realizadas a 200° C y 300° C con sus tiempos correspondientes) las diferencias en el peso y las dimensiones no son demasiado significativas a esta temperatura –aunque no se realizaron análisis estadísticos; la limitada amplitud de la muestra tampoco lo permite–. Por ello no fueron tenidas en cuenta más que como experiencia y quedaron excluidas del análisis final.

No obstante es interesante recalcar cómo la experiencia previa es una fuente de información fundamental. En un caso como éste, en que la temperatura y el tiempo mínimos para la consecución de la carbonización de los frutos que ha sido rescatada de la bibliografía es evidentemente excesiva –quizá por el pequeño tamaño o por las condiciones de deterioro

de los frutos involucrados en el proceso –, las pruebas preliminares sirvieron para ajustar los tiempos y las temperaturas. Además, al haber sido tomadas las medidas antes y después de la carbonización también dan una idea ajustada del proceso que experimentan los frutos, aunque su número no fuera lo suficientemente alto como para implicarlas en un análisis estadístico como el que se hizo con los frutos definitivos. Un motivo más para difuminar la frontera entre la auténtica experimentación y la experiencia aproximativa o didáctica; o al menos para no menospreciar esta última, o para darle, al fin, la importancia que merece y abrirse a los datos que proporciona de forma seria, aunque sea limitada.

Procedimiento experimental (III): carbonización al aire libre

Tras obtener los datos de la carbonización de los frutos en mufla, lanzar el análisis estadístico de los mismos y hacer las observaciones *de visu* y de aumento con lupa binocular un grupo de seis bellotas crudas fueron expuestas al fuego de una hoguera al aire libre. El objetivo de esta prueba fue la comprobación del efecto del fuego vivo sobre los frutos en un intento de acercamiento a un posible proceso real.

Para ello se trazó un hogar delimitado con piedras y se marcaron puntos, a partir de un centro aproximado, cada diez centímetros hasta llegar a los sesenta. En estos puntos se colocaron los frutos sin cáscara una vez encendido el fuego, que se mantuvo vivo durante todo el proceso de quema (Fig. 1). La temperatura de los frutos se comprobó en tres intervalos de tiempo, cada cinco minutos tras haberse iniciado la combustión en el momento inicial ($T_0=0$): a los cinco minutos ($T_1=5'$), a los diez ($T_2=10'$) y a los quince ($T_3=15'$). Para cada uno de estos momentos se tomó la temperatura con un pirómetro de láser rojo, cuyas medidas son aproximadas debido, por un lado, a la medición inestable que provoca la variación de la llama (en el caso de los puntos situados más cercanos al centro de la hoguera, los 10 y los 20 cm del centro, que se veían afectados directamente por el fuego; no así los frutos más alejados, cuya temperatura pudo tomarse sin problemas) y por el otro al bajo rango de registro que este poseía, de -32°C a 380°C con fidelidad.



Figura 1: Disposición del hogar y los puntos en que se colocaron los frutos para la quema al aire libre

DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

La diferencia entre lo crudo y lo cocido. Resultados estadísticos.

Peso y dimensiones

El análisis ANOVA demuestra diferencias significativas entre el tratamiento a 200° y a 300° para el factor peso ($F_{1,48}=27,405$; $p<0,0001$). La variación de peso que experimentan los frutos es mayor al someterlos a la carbonización a 300° C (Tabla 2).

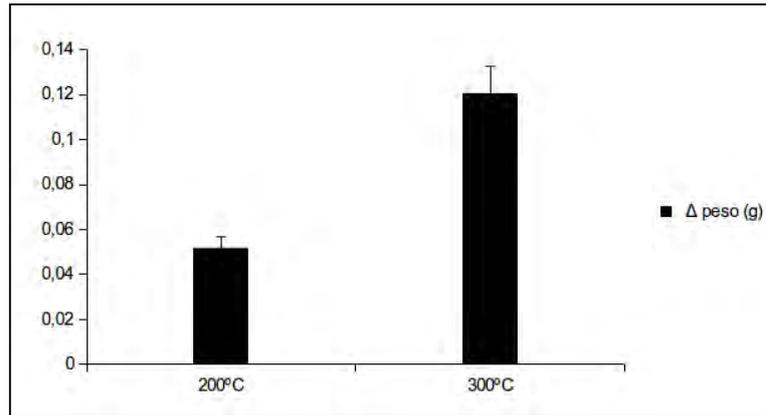


Tabla 2: Diferencias en la variación de peso según temperatura de carbonización

Los test de Kruskal-Wallis muestran diferencias significativas entre las medias de los factores longitud, anchura y espesor ($p\text{-valor}<0,05$; para un nivel de significación del 0,05) en función del tratamiento aplicado (Tabla 3).

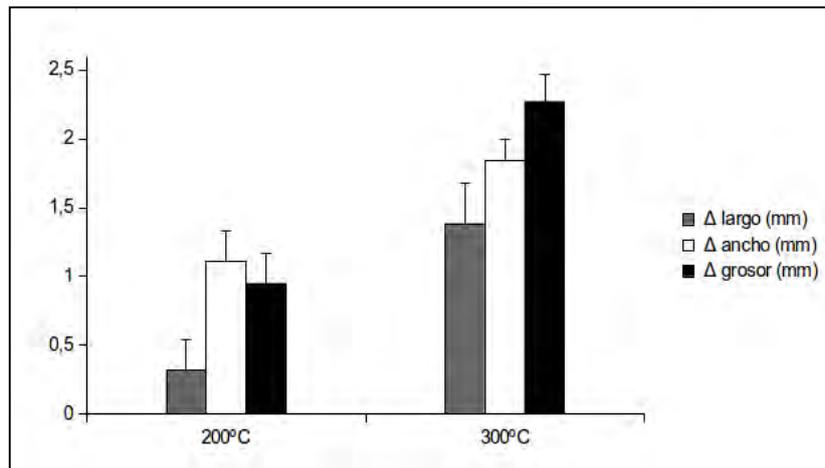


Tabla 3: Diferencias en la media de cada variable según temperatura de carbonización

Índices biométricos

La realización de los tests de Welch y Brow-Forsythe para $\bar{I}n1$ y $\Delta\bar{I}n1$ en ambos grupos de tratamiento térmico aporta valores que no son significativos: no hay evidencia estadística suficiente que permita afirmar que existen diferencias entre las relaciones dimensionales de los frutos según el tratamiento térmico. Esto podría deberse, quizá, a una evolución proporcional durante el proceso de carbonización de las dimensiones del largo y el ancho.

La prueba de Kruskal-Wallis para $\bar{I}n2$ en ambos grupos de tratamiento no es significativa. Sin embargo sí lo es para $\Delta\bar{I}n2$ (para ambos grupos). La media de $\Delta\bar{I}n2$ (media de la diferencia del índice biométrico de las bellotas en crudo y el índice biométrico de las carbonizadas a 200° durante 15 minutos; y la media de la diferencia entre el índice biométrico de las bellotas crudas y el de las carbonizadas a 300° durante 5 minutos) no es igual ni similar: la relación entre el grosor y el ancho varía de manera distinta dependiendo del tratamiento térmico aplicado. Para el grupo 1 –200° durante 15 minutos– apenas hay diferencia entre $\bar{I}n2$ en crudo e $\bar{I}n2$ del fruto carbonizado (Tabla 4).

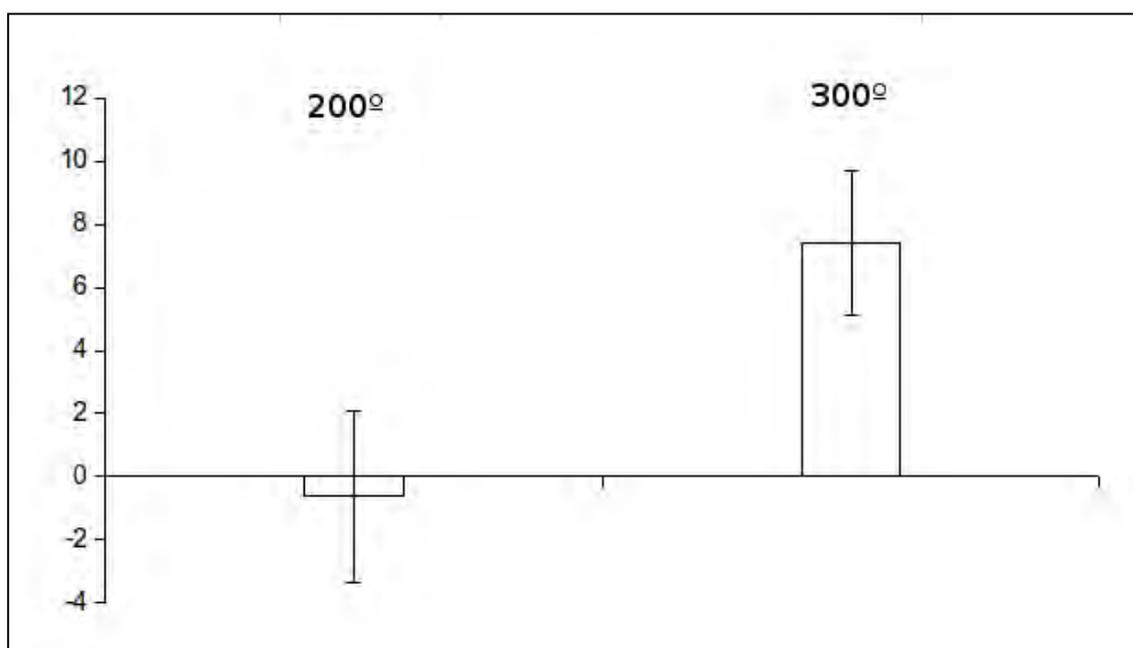


Tabla 4: Medias de la variación del $\bar{I}n2$ según el tratamiento aplicado

Observaciones con lupa binocular

Doce bellotas fueron seleccionadas aleatoriamente dentro de la muestra total de 50 y, una vez carbonizadas, aleatoriamente dentro de cada grupo de temperatura: seis bellotas que habían experimentado tratamiento térmico a 200° C durante 15 minutos (grupo 1) y seis a 300° C durante 5 minutos (grupo 2). También se realizaron observaciones control de bellotas en crudo –para dar lugar a la comparativa posterior– y de algunas de las frutas carbonizadas al aire libre en hoguera. Para las fotografías se eligieron cinco de las muestras observadas que mejor ejemplificaban las características físicas experimentadas por los frutos

al someterse al tratamiento, y pretenden tener un mínimo valor comparativo para con otras observaciones o fotografías (por ejemplo en Aura *et al.* 2005).

El análisis morfológico con la lupa binocular coincide con las observaciones *de visu*: no parece haber diferencias significativas, al menos no del tipo que permitan ser reconocidas a simple vista, entre los frutos carbonizados del grupo 1 y los del grupo 2. En ambos casos se experimentan cambios físicos a causa del calor que pueden agruparse en tres tipos de modificaciones:

- Craquelado de la superficie exterior (de la bellota y de los cotiledones; esto es, también en la cara plana de los cotiledones, que es donde se encuentra la juntura entre ambos): aparecen grietas más o menos profundas probablemente debido al abombamiento o hinchazón del fruto, cuya masa interna se amplía y encuentra insuficiente el área externa que la contiene (Fig. 2.a).
- Burbujas en la superficie, tanto externa como interna. La hinchazón de zonas circulares provoca un mosaico de semiesferas de interior hueco: con la presión realizada por un punzón de madera se revienta esta fina capa y debía ver el lugar vacío que antes ocupaba la masa proteica del fruto (Fig. 2.b).
- Protuberancias de la masa interior hacia fuera, sobrepasando y rompiendo la capa superficial del tegumento que hace de contenedor (Fig. 2.c).

Como es sabido, la principal modificación es cromática: frente al estado crudo, el fruto carbonizado presenta un color de pardo oscuro a negro iridiscente, con motas brillantes distribuidas uniformemente por toda la masa quemada (Fig. 2.d).

La variación textural es más compleja y tampoco se corresponde en esencia con la temperatura aplicada: tanto en las bellotas del grupo 1 como en las del grupo 2 se aprecia una porosidad, que podría decirse típica del proceso de carbonización, que implica una pérdida de masa. Parece corresponderse con la modificación térmica de la textura observada en las bellotas crudas: brillante, terrosa y a grandes rasgos uniforme –pero con un moteado, quizá debido a la distribución en cúmulos de los distintos nutrientes estructurales, que varía del amarillo claro o ambarino al ocre marronoso–. Esta distribución de poros o vacíos internos es más o menos regular dependiendo del espécimen y probablemente tenga que ver con las burbujas mencionadas anteriormente: al corte transversal del tejido se aprecia una pseudo-vacuolización (Fig. 3). La causa de este cambio no puedo dilucidarla de una observación con lupa y sin conocimientos precisos acerca de los cambios químicos y moleculares que experimenta el tejido vegetal con el fuego.



0.5 cm
a



0.5 cm
b

0.5 cm



c



0.5 cm

d

Figura 2: a-c: 2,048 aumentos; d. 5,12 aumentos

0,5 cm

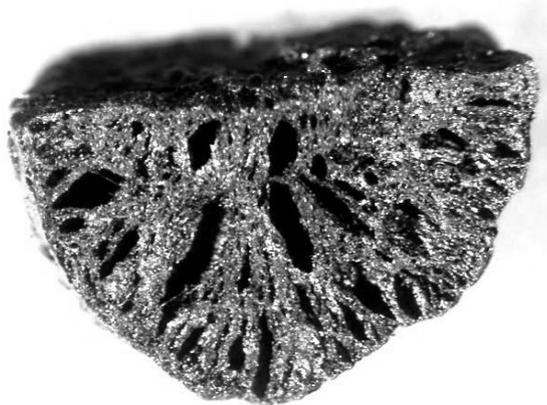


Figura 3: 5,12 aumentos

Carbonización en fuego al aire libre.

La variación de temperatura en los distintos momentos en que fue registrada se muestra en la tabla adjunta:

Distancia al centro (cm)	Temperatura aproximada (°C) en T ₁ =5'	Temperatura aproximada (°C) en T ₂ =10'	Temperatura aproximada (°C) en T ₃ =15'
10	558	541	190
20	213	89	58,1
30	57,5	48	50,1
40	55,7	46,7	54,1
50	50,4	xx*	xx*
60	54*	xx*	xx*

Tabla 5: variación en la temperatura según la distancia al centro del hogar

El valor para la temperatura del fruto situado a 60 cm del centro del hogar a los cinco minutos es extraño, puesto que aumenta con respecto a la del fruto situado diez centímetros más cerca del centro. Los valores de la temperatura de las bellotas situadas a 50 y 60 cm del centro a los diez y a los quince minutos no pudieron ser tomados debido al desplazamiento accidental de los frutos del sitio marcado.

Los resultados de la carbonización al aire libre, en cualquier caso, sólo pudieron ser percibidos en los dos frutos que se situaron más cercanos al centro, no en los que estaban en tercer ni en cuarto lugar (30 y 40 cm desde el centro, respectivamente). En estos dos casos mencionados tanto la variación del peso como el cambio morfológico se asemejan a los obtenidos mediante la carbonización en mufla. En la figura 4.a, perteneciente al fruto carbonizado a 10 cm del centro del hogar al final del procedimiento (15 minutos), puede

apreciarse cómo el material interno sobresale a modo de protuberancia hacia el exterior de manera similar que lo observado en la figura 2.b. La figura 4.b corresponde al estado final del fruto carbonizado a 20 cm del centro del foco de calor. Las manchas blancas son las partes del mismo que ya han comenzado a reducirse a ceniza.

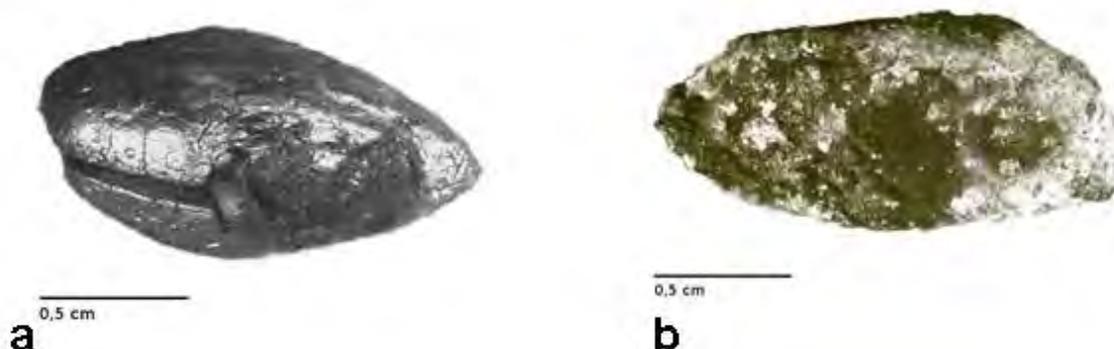


Figura 4: a. 2,048 aumentos; b. 2,048 aumentos

CONCLUSIÓN/DISCUSIÓN

Las conclusiones que pueden obtenerse de todo el proceso seguido para la configuración de este trabajo son de diversa índole. Por un lado nos encontramos con unas pruebas estadísticas que ayudan a comprender cómo se da la variación de la morfología de las bellotas durante el proceso de carbonización con respecto a su estado previo en las variables tenidas en cuenta –dimensiones y peso–. En general puede decirse que experimentan un descenso en su masa y un aumento en su diámetro, como refleja el índice biométrico dos (anchura/espesor), aunque estos cambios son disímiles dependiendo de la temperatura y el tiempo de exposición a la fuente de calor.

Las observaciones, tanto a simple vista como con lupa, confirman el cambio morfológico con mayor detalle, apreciándose sobre todo modificaciones del fruto que son de tres tipos y que afectan a la superficie del mismo –no es objeto de este estudio la comprensión de las modificaciones químicas, moleculares o del contenido de nutrientes y variación del mismo–: rotura y craquelado de la superficie, abombamiento zonal del endospermo y ruptura del tegumento más superficial provocado por la salida repentina, al hincharse, de la materia más interior del fruto.

Además de la variación de los parámetros métricos, que es quizá la modificación más obvia que experimenta un carbón vegetal y el eje fundamental de este trabajo, debe intentarse una propuesta de tipo cultural que pueda verse esclarecida en alguna medida con los resultados obtenidos y la experiencia que ha llevado a su consecución, *i.e.* el control de las variables de carbonización. Por un lado puede fijarse el punto crítico de carbonización en torno a los 300° centígrados. Para esta temperatura, además, y en el caso de echarse el fruto pelado al fuego, el tiempo de exposición necesario para la obtención de un carbón es bastante pequeño: de 5 a 10 minutos. Si este lapso no es suficiente para la total carbonización, sí que

lo es para impedir que el fruto sometido a un calor tan intenso sea consumible. De lo que nos informa este rango tan ajustado de operaciones es, muy probablemente, de un conocimiento bien desarrollado de las necesidades caloríficas que optimizan el fruto para su consumo. Esto, a su vez, nos remite a la propuesta ya citada acerca de la accidentalidad de la carbonización de las bellotas que se encuentran en el registro arqueológico: dado que aparecen carbonizadas, posiblemente hayan llegado a ese estado debido a un olvido, a un error de cálculo o a ser sometidas al fuego voluntariamente por una posible imperfección o enfermedad que, ya crudas, las hiciera deficitarias para el consumo –es decir, que fueran tratadas como desechos, como se presupone ocurría con los huesos de las aceitunas–.

Los cambios intuitivos tras las mediciones y las observaciones experimentales y el hecho de que sean los cotiledones desnudos los que se retiran de yacimiento, y mucho menos frecuentemente el fruto con la cáscara, hacen pensar que las bellotas eran tostadas descascarilladas. No obstante y conociendo la tradición popular que se ha mantenido hasta no hace mucho tiempo, parece esta una acción poco lógica: el tostado, además de mejorar el sabor y lavar los taninos, sirve para ahuecar el pericarpio y facilitar el pelado del fruto. Además, acercar la bellota a la fuente de calor aún con su cáscara la protege, precisamente, de carbonizaciones accidentales. Hay bibliografía, que ya ha sido mencionada, que incide también en esta aparente contradicción, sobre la que no puede concluirse nada en firme.

Por último, debe tenerse en cuenta que la poca frecuencia de hallazgos de bellota, frente a otras especies más representadas en el registro, puede deberse no sólo a técnicas deficitarias de recogida y empleo sino también a que *efectivamente* sea menor: como demuestran los trabajos de tipo histórico, los cuales han sido también citados, la bellota es un fruto aprovechable en un alto porcentaje y con una parte de desecho, la cáscara, mínima. Si, como se ha podido comprobar, el paso de crudo a ceniza es fácil y rápido a determinadas temperaturas, y ello implica, debido a la fragilidad de esta materia, que el resto sea lavado por el viento, el sedimento o la lluvia o destruido con la remoción del terreno. Encontraríamos, pues, que la carbonización hasta la ceniza de las cáscaras, lanzadas al fuego como desecho, difícil o muy poco frecuentemente dejaría un rastro arqueológico. Por lo tanto si existe presencia de bellotas carbonizadas, bien sus cotiledones, bien su cápsula, no debe suponerse con tanta rapidez que su infrarrepresentación sea indicativo de un consumo bajo u ocasional.

BIBLIOGRAFÍA

- AURA, J. E.; CARRIÓN, Y.; ESTRELLES, E. y PÉREZ JORDÀ, G. (2005): “Plant economy of hunter-gatherer groups at the end of the last Ice Age: plant macroremains from the cave of Santa Maira (Alacant, Spain) ca. 12000-9000 BP”. *Vegetation History and Archaeology* 14: 542-550.
- BRAADBAART, F. (2004): “Carbonisation and morphological changes in modern dehusked and husked *Triticum dicoccum* and *Triticum aestivum* grains”. *Vegetation History and Archaeobotany* 17(1): 155-166.
- BRAADBART, F.; BOON, J. J.; VELD, H.; DAVID, P. y van BERGEN, P. F. (2004a): “Laboratory simulations of the transformation of peas as a result of heat treatment: changes of the physical and chemical properties”. *Journal of Archaeological Science* 31: 821-833.

- BRAADBAART, F.; van der HORST, J.; BOON, J. J. y van BERGEN, P. F. (2004b): "Laboratory simulations of emmer wheat as a result of heating". *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 77: 957-973.
- BRAADBAART, F.; WRIGHT, P. J.; van der HORST, J. y BOON, J. J. (2007): "A laboratory simulation of the carbonization of sunflower achenes and seeds". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 78: 316-327.
- BUXÓ, R. (1990): *Metodología y técnicas para la recuperación de restos vegetales (en especial referencia a semillas y frutos) en yacimientos arqueológicos*. Girona, Ajuntament de Girona.
- BUXÓ, R. (1997): *Arqueología de las plantas*. Barcelona, Crítica.
- BUXÓ, R. y PIQUÉ, R. (2008). *Arqueobotánica. Los usos de las plantas en la Península Ibérica*. Barcelona, Ariel.
- GALÁN, P.; GAMARRA, R. y GARCÍA, J. I. (1998): *Árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares*. Madrid, Ed. Jaguar.
- MILNER, N. y MIRACLE, P. (2002): "Introduction: Patterning Data and Consuming Theory". *Consuming passions and patterns of consumption*. Cambridge, McDonald Institute for Archaeological Research. 1-5.
- PEREIRA, J. y GARCÍA, E. (2002a). "Bellotas, el alimento de la Edad de Oro". *Arqueoweb: Revista sobre Arqueología en Internet* 4 (2).
- PEREIRA, J. y GARCÍA, E. (2002b): "Un recorrido histórico por los métodos de almacenamiento y conservación de las bellotas". *Montes: revista de ámbito forestal* 69. 48-59.
- ZAPATA, L. (2000): "La recolección de plantas silvestres en la subsistencia mesolítica y neolítica. Datos arqueobotánicos del País Vasco". *Complutum* 11: 157-169.
- ZAPATA, L. y PEÑA, L. (2013): "Macrorrestos vegetales arqueológicos". *Métodos y técnicas de análisis y estudio en arqueología prehistórica. De lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos*. Euskadi, Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua / Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco: 303-314.
-