



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS



Grado en Geografía y Ordenación Del Territorio

TRABAJO FIN DE GRADO

Director: Sebastián Pérez Díaz

Curso: 2021/2022

LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO EN EL CANTÁBRICO ORIENTAL

THE LITTLE ICE AGE IN THE EASTERN CANTABRIAN REGION

Juan Del Río González

Marzo 2022

RESUMEN

La Pequeña Edad de Hielo es conocida por ser uno de los periodos más fríos de la historia reciente del planeta. Los registros climatológicos en el hemisferio norte han permitido constatar la evidencia de estas condiciones climáticas adversas, las cuales tuvieron un notable impacto socio-económico y paisajístico. En este Trabajo de Fin de Grado se analiza del impacto de la Pequeña Edad de Hielo en el contexto geográfico Cantábrico Oriental (norte de la península ibérica), para determinar en base a datos cuantitativos si tuvo un efecto considerable en la cobertura vegetal.

La metodología empleada se basa en reconstrucciones paleoclimáticas usando funciones de transferencia a través de la Técnica de los Análogos Modernos a partir de datos paleoambientales de tres turberas presentes en el área geográfica de estudio. Los principales resultados señalan una notable variabilidad climática¹ y diferentes intensidades de transformaciones en el paisaje vegetal.

Palabras clave: Pequeña Edad de Hielo, Cantábrico Oriental, Paleoclimatología, Registros naturales, Vegetación.

The Little Ice Age is known to be one of the coldest periods in recent history. The climatological records in the northern hemisphere have made it possible to verify the evidence of these adverse climatic conditions, which had a socio-economic and natural impact. In this Final Degree Project, the impact of the Little Ice Age in the eastern Cantabrian geographical context (north of the Iberian Peninsula) is analyzed to determine, based on quantitative data, if it had a considerable effect on the vegetation cover.

The methodology used is based on paleoclimatic reconstructions using transfer functions through the Modern Analogues Technique based on paleoenvironmental data from three peat bogs present in the geographical area of study. The main results indicate a notable environmental variability and different intensities of transformations in the plant landscape.

Keywords: Little Ice Age, Western Cantabrian Region, Paleoclimatology, Natural records, Vegetation.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS A LO LARGO DE LA HISTORIA DEL PLANETA.....	6
3.	LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO.....	8
4.	JUSTIFICACION Y OBJETIVOS.....	10
5.	AREA DE ESTUDIO.....	11
6.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	16
7.	RESULTADOS.....	19
7.1	TURBERA DE ZALAMA.....	19
7.1.1:	Fase 1: 1200- 700 cal BP.....	20
7.1.2:	Fase 2: 700- 100 cal BP.....	21
7.1.3:	Fase 3: 100 cal BP – actualidad.....	22
7.2	TURBERA DE ARBARRAIN.....	23
7.2.1:	Fase 1: 1200 – 950 cal BP.....	24
7.2.2:	Fase 2: 950 – 520 cal BP.....	26
7.2.3:	Fase 3: 520 – 100 cal BP.....	26
7.2.4:	Fase 4: 100 cal BP – Actualidad.....	27
7.3	TURBERA DE GESALETA.....	27
7.3.1:	Fase 1: 1200 – 570 cal BP.....	29
7.3.2:	Fase 2: 570- 470 cal BP.....	31
7.2.3:	Fase 3: 470 – 250 cal BP.....	32
7.2.4:	Fase 4: 250 225 cal BP.....	33
8.	DISCUSIÓN.....	34
8.1:	FASE PREVIA A LA PEH (1200-700 cal BP).....	34
8.2:	LA PEH (ca. 700-100 cal BP).....	36
8.3:	FASE POSTERIOR A LA PEH (100 cal BP- ACTUALIDAD).....	42
9.	CONCLUSIONES.....	43
10.	BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES.....	44

1. INTRODUCCIÓN

La Geografía, como disciplina científica que se encarga del estudio de los fenómenos y procesos que explican las relaciones entre el medio natural y el ser humano, se enfrenta en la actualidad al reto de dar explicaciones a fenómenos complejos, que están además en continua actualización, ya sea en el ámbito humano, regional o físico.

En el caso particular de la Geografía física, es la rama de la Geografía cuyo objeto principal es el estudio de los elementos de la naturaleza, como el relieve -geomorfología-, la atmósfera -climatología-, el agua -hidrografía-, la distribución de los seres vivos -biogeografía-, sus relaciones recíprocas, distribución global y desarrollo en el tiempo. Es por tanto muy relevante el vínculo que esta disciplina tiene con el paisaje, puesto que permite interpretarlo, así como analizar las interacciones que suceden en él.

El paisaje posee una definición compleja. Buena prueba de ello es la variedad de disciplinas que abordan su estudio, desde las artes a la ingeniería, pasando por la filosofía, la arquitectura, la biología, y por supuesto, la Geografía. Cada una de ellas podría aportar su propia definición (Zubelzu y Allende, 2015). Según el Convenio Europeo del Paisaje del año 2000 éste se entiende como “cualquier parte del territorio tal como la percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y/o humanos” (Convenio Europeo del Paisaje, 2000). Esta es una definición integradora que puede hacer referencia a tres perspectivas del paisaje: el paisaje como realidad física, la percepción del paisaje y el paisaje como recurso. El paisaje puede ser interpretado como realidad física, puesto que es innegable que éste se conforma de elementos naturales, pero también se nutre de la interacción antrópica que lo modela. El paisaje puede ser entendido desde el prisma de la percepción; este es un enfoque muy subjetivo que implica factores sociales o culturales del observador en cuestión. Por último, el paisaje puede ser entendido como recurso que puede ser aprovechado, pero, que debe ser protegido y gestionado para garantizar su perdurabilidad. (Zubelzu y Allende, 2015).

Desde la perspectiva de la Geografía, el paisaje actual es el reflejo de las interacciones que en él suceden por parte de diferentes factores, por tanto, su interpretación es muy importante para entender los procesos humanos que han sucedido ya no solo en el presente, sino también

en el pasado. El análisis de los paisajes antiguos aporta una perspectiva diacrónica de cómo han evolucionado, de cómo se han visto afectados por factores muy diversos que han dejado su impronta en ellos. Entre los eventos más relevantes se encuentran los cambios climáticos, ya que el clima es un elemento modelador del paisaje y su influencia en él es elevada. En este sentido los registros paleobotánicos del pasado son de gran valor para obtener información paleoclimática a través de ellos (Jacques y Montes, 2007, Pérez Obiol *et al.*, 2011; Pérez Díaz *et al.*, 2012, Sánchez-Morales *et al.*, 2022).

En concreto el estudio y análisis de los registros paleopalinológicos aporta información muy relevante sobre la composición de la vegetación, su evolución, las condiciones climáticas, la antropización etc. Los granos de polen de las diversas especies vegetales se dispersan y acumula en múltiples superficies. El polen al caer en lugares con acumulaciones de sedimentos orgánicos o inorgánicos pasa inmediatamente a formar parte de los registros estratigráficos (Jacques y Montes, 2007). De entre todos los registros susceptibles de contener polen, usualmente se recurre a las turberas, ecosistemas húmedos en los que la materia orgánica se conserva durante milenios, como es el caso de las tres ubicaciones seleccionadas para el presente trabajo (Almendros, 1981; Fernández y Pérez, 2018; Chico *et al.*, 2020). Los registros paleoambientales de polen se ven mejor preservados en medios anaeróbicos ya que son más idóneos para su conservación, por lo que las turberas constituyen entornos muy valiosos dada la información que pueden aportar (Quinzo, 2011).

Como señalan Jaques y Montes (2007) *“Algo fundamental en el análisis del polen es el hecho de que los granos son extremadamente resistentes al deterioro, poseen características morfológicas que son específicas para un género o especie particular de planta, son producidos en enormes cantidades, se distribuyen de manera abundante desde de las plantas que los emiten, y reflejan la vegetación natural de los alrededores del sitio de preservación.”*

Los cambios relativos a la composición de la vegetación, así como su distribución espacial pueden verse muy influidos por variaciones en las condiciones climáticas. Oscilaciones de apenas unos grados en las temperaturas o aumentos y descensos en el volumen de las precipitaciones pueden ser determinantes en los periodos de floración. Por tanto, la interpretación de la vegetación mediante el análisis del polen puede ayudar a establecer conclusiones y establecer relaciones de causa-efecto a diferentes escalas temporales y espaciales sobre las dinámicas climáticas.

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en el estudio paleoclimático de la Pequeña Edad del Hielo (en adelante PEH) y su influencia en el paisaje del Cantábrico Oriental (norte de la península Ibérica) a través del análisis de tres registros palinológicos entre 1300-1850.

2. LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS A LO LARGO DE LA HISTORIA DEL PLANETA

En los 4.600 millones de años (Ma) de edad que posee el planeta Tierra se han sucedido diversas fases o etapas climáticas (Figura 2.1), que, especialmente en los períodos más antiguos, generan aún más dudas que certidumbres (Uriarte 2004; Sousa 2009).

En los primeros 500 millones de años desde la creación de la tierra, esta era un cuerpo muy caliente, casi incandescente, por lo que la vida era inviable. Durante los primeros 2.300 millones de años del planeta, las condiciones climáticas eran considerablemente más cálidas que en la actualidad, con una nula presencia de hielo en la superficie. Esto cambió abruptamente en algún momento de esa etapa de la historia de nuestro planeta, produciéndose un primer periodo frío que tuvo una duración de aproximadamente 300 millones de años en los cuales la superficie terrestre estuvo helada.

Pasado este primer periodo el planeta volvió a sufrir un calentamiento por causas desconocidas, desapareciendo los hielos, y, volviéndose a producir hace aproximadamente 1200 millones de años un segundo enfriamiento que se prolongó 500 millones de años. Tras esta etapa glacial se desarrolló un nuevo periodo cálido relativamente corto en el tiempo, puesto que hace 700 millones de años se produjo un nuevo enfriamiento planetario, el tercero, que convirtió al planeta en una “Tierra bola de nieve”. Tras 150 millones de años de episodio frío comienza el Precámbrico hace 550 millones de años. Hasta nuestros días se han ido sucediendo periodos de frío-calor de manera alternante con escalas y magnitudes diversas.

Hace 430 millones de años se inició otra era glacial en la tierra, abarcando un periodo de tiempo de 40 millones de años, revirtiéndose la situación durante el Devónico y el Carbonífero siendo el final del carbonífero, hace 300 millones de años el inicio de una nueva etapa fría produciéndose la cuarta “Tierra bola de nieve”. Finalizada la era Paleozoica (544-245 Ma) se da paso a la Era Mesozoica (245- 65 Ma) con unas condiciones climáticas cálidas

que favorecieron la vida, esto cambió abruptamente hace 65 millones de años iniciándose la séptima era glacial de la tierra, que aún sigue vigente, pudiendo parecer paradójico debido al contexto de cambio climático actual en el que se encuentra el planeta con temperaturas en relativo ascenso por causas antropogénicas.

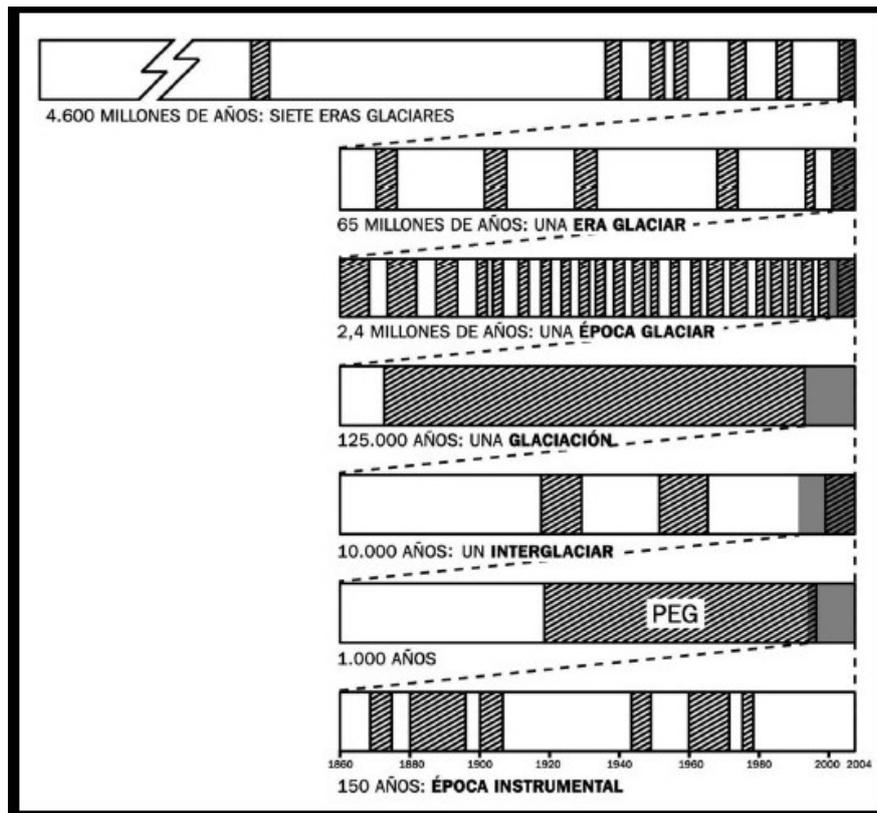


Figura 2.1. Representación esquemática de la historia climática de la tierra. Fuente: Viñas (2007)

La variabilidad del clima a lo largo de la historia ha sido un factor determinante para el desarrollo de las sociedades humanas. La aparición de la especie humana coincidió con unas condiciones climáticas relativamente benignas que favorecieron su desarrollo y que no se habían dado en la tierra con anterioridad. Las condiciones benignas del clima de los últimos 11.000 años han influido de manera significativa en nuestro desarrollo y progreso como especie y sociedad. El actual contexto de cambio climático pone de manifiesto esta premisa, puesto que las variaciones de las condiciones climáticas con el aumento progresivo de las temperaturas en las próximas décadas van a suponer un reto para grandes volúmenes de población que van a quedar expuestas a condiciones meteorológicas adversas y variables. (Viñas, 2012)

3. LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO

Uno de los cambios climáticos más recientes y que han dejado numerosa bibliografía es la denominada PEH, una fase generalmente considerada de características frías que se ha documentado a escala planetaria. Su inicio, según autores, podría establecerse entre 1300 y 1400 cal AD (Manrique y Fernández Cancio, 2000; Desprat *et al.*, 2003; Mayewski *et al.*, 2004; Mann, 2007; Jalut *et al.*, 2009), extendiéndose hasta mediados del siglo XIX cal AD (ca. 1850 cal AD) (Bradley y Jones, 1993). La PEH ha sido el periodo más frío en el último milenio. Multitud de registros naturales y testimonios de carácter histórico así lo atestiguan, mostrando con gran claridad las condiciones climáticas frías acaecidas entre los siglos XIV y XIX, con una mayor incidencia de fenómenos meteorológicos extremos (Paasche *et al.*, 2010). Grandes erupciones volcánicas, así como una menor irradiancia solar son los factores que favorecieron de manera muy notable un progresivo enfriamiento de los veranos en el continente europeo (Oliva, 2018).

Las causas más probables que explican la PEH son cambios en la actividad solar (Bard, 2000). A lo largo de la PEH se documentan al menos cuatro momentos que representan mínimos de temperatura, relacionados, entre otros factores, con la disminución de la actividad solar (Grove, 2001; Mauquoy *et al.*, 2002; González Rouco *et al.*, 2003; Steinhilber *et al.*, 2009). Son los denominados mínimos de Wolf (ca. 1280-1350 cal AD), Spörer (ca. 1460-1550 cal AD), Maunder (ca. 1645-1715 cal AD) y Dalton (ca. 1790-1820 cal AD); de los cuales el más pronunciado sería el mínimo de Maunder (Bradley & Jones, 1993). Las erupciones volcánicas ya mencionadas también influyeron de manera significativa, expulsando a la atmosfera ingentes cantidades de aerosoles en forma de cenizas volcánicas lo que redujo considerablemente el paso de la luz solar durante periodos de tiempo determinados. (CLIVAR, 2010). Algunos investigadores han afirmado que la PEH consistió en una serie de fenómenos regionales más que globales (Bard, 2000).

En el ámbito peninsular, los efectos de la PEH fueron variados y con un carácter temporal no lineal influenciados por la ubicación geográfica. El inicio de la PEH en la península ibérica dio por finalizada de manera abrupta el óptimo climático medieval que se venía disfrutando siglos atrás. En la península ibérica se pueden destacar varias fases de la PEH (Oliva, 2018):

- 1300-1480: Enfriamiento moderado y variabilidad climática
- 1480-1570: Condiciones climáticas algo más cálidas que en el periodo anterior y un menor número de fenómenos meteorológicos extremos
- 1570-1620: Progresivo enfriamiento de las temperaturas con episodios recurrentes de frío.
- 1620-1715: Periodo temporal con las condiciones climáticas más frías de la PEH en la península ibérica, más concretamente durante el mínimo de Maunder
- 1715-1760: Temperaturas relativamente más cálidas y condiciones estables

Cabe destacar que en la península ibérica las temperaturas más frías de este periodo sucedieron a finales del siglo XVII y principios del siglo XVIII, siendo estas un grado centígrado inferiores a las temperaturas de 1850 y dos grados centígrados inferiores a los valores actuales (Oliva, 2018).

Las huellas más destacables de este periodo en la península ibérica se reflejan de manera más notable en las áreas montañosas, destacando sobremanera la alta montaña pirenaica, aunque las huellas también están presentes en Picos de Europa y Sierra Nevada. En los Pirineos se ubican 10 macizos que albergan glaciares con extensiones relativamente notables que han sido foco de estudio de la PEH, además, existen vestigios de la PEH como morrenas o materiales glaciares en más de 100 circos de la montaña pirenaica. En el ámbito de Los Pirineos la altitud mínima de la ELA (línea de equilibrio) en los momentos más álgidos de la PEH se situaba en 2200 m s.n.m. (González Trueba *et al.*, 2008). La PEH supuso una etapa de expansión de los hielos en los Pirineos, las masas de hielo se vieron beneficiadas de los momentos álgidos de la PEH con un primer avance del hielo durante el Mínimo de Maunder a finales del siglo XVII y principios del siglo XVIII y un segundo avance ocurrido entre 1790-1830 durante el mínimo de Dalton (García Ruiz *et al.*, 2014).

En lo relativo a la región cantábrica la PEH favoreció la aparición de glaciario a escala muy local y en altitudes elevadas del macizo central y occidental de los Picos de Europa, con la presencia de 6 glaciares (Figura 3.1). Documentación histórica así lo atestigua, detallando que, la extensión máxima de estos glaciares se produjo a mediados del siglo XIX. La extensión total de los glaciares durante la PEH en los Picos de Europa se ha estimado en 25 ha, los archivos históricos han permitido establecer una cronología aproximada de la evolución de los glaciares en el macizo central de los Picos de Europa, si bien es necesario reseñar que la altitud mínima de las morrenas en el área cantábrica se situaba

aproximadamente a 2200 m s.n.m. Varios testimonios apuntan a un máximo glacial a mediados del siglo XIX para, posteriormente, experimentar un claro retroceso en las décadas posteriores y primer tercio del siglo XX debido fundamentalmente al aumento progresivo de las temperaturas por causas antrópicas, con un incremento de 0'9° en los últimos 150 años (González Trueba *et al.*, 2008).

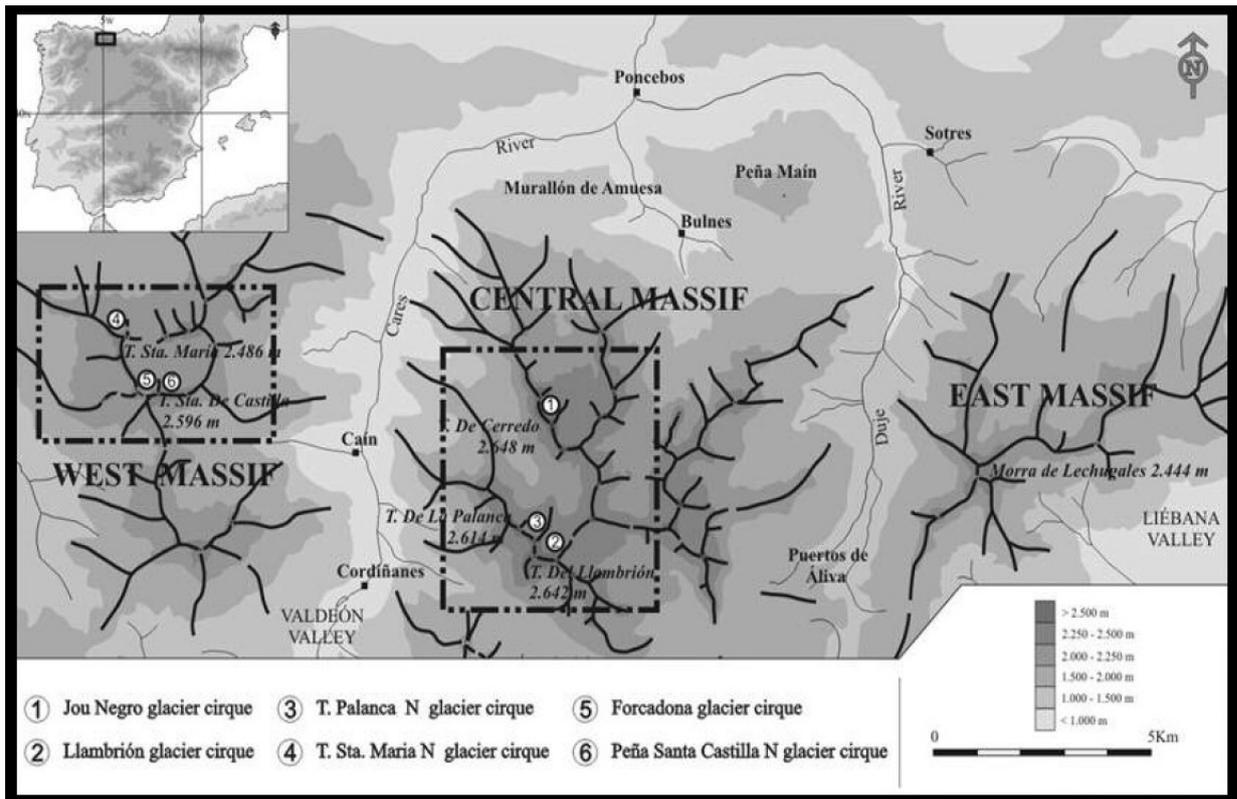


Figura 3.1: Ubicación de los glaciares en los Picos de Europa durante la PEH (González Trueba *et al.*, 2008).

4. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

La justificación de este trabajo se basa en la ausencia de cualquier otra aproximación paleoclimática basada en datos cuantitativos y metodología computarizada en la zona de estudio, por lo que los resultados obtenidos serán originales y novedosos.

Esto permitirá profundizar en el conocimiento científico de esta etapa histórica mediante la aportación de nueva información de carácter cuantitativo. El estudio del clima pasado y su influencia en el medio natural, así como en los grupos humanos, es importante para mejorar la comprensión del actual sistema climático, el cual se está viendo sujeto a profundos cambios en un contexto de cambio climático acelerado motivado por causas antrópicas.

La hipótesis de partida se basa en la consideración de que los cambios ambientales en general, y la PEH en particular, han podido influir en diferentes elementos del medio natural. Por tanto, el objetivo principal de este trabajo es determinar el impacto de la PEH sobre la cobertura vegetal en el Cantábrico Oriental (norte de la península ibérica), a través del estudio de tres registros palinológicos procedentes de tres turberas seleccionadas las cuales se ubican en Navarra y País Vasco siendo estas Arbarrain, Gesaleta y Zalama, usando para ello la técnica de los análogos modernos.

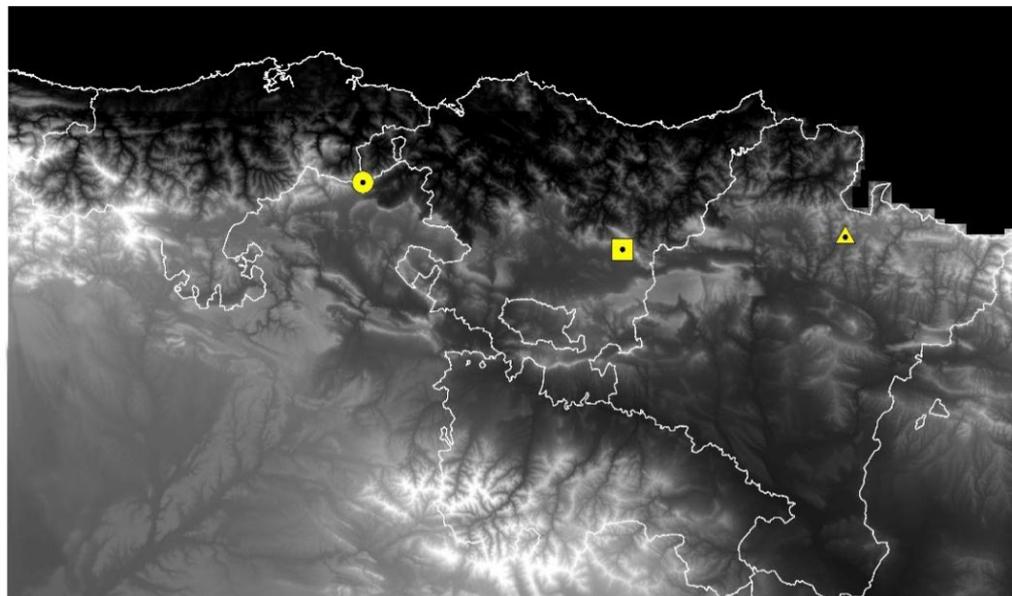
5. AREA DE ESTUDIO

El objeto de análisis se enmarca en el contexto biogeográfico del Cantábrico Oriental (norte peninsular), donde se hallan ubicadas las tres turberas seleccionadas.

El ámbito de estudio se localiza entre los 42° y 44° de latitud norte, en lo que se denomina España verde con un clima oceánico de transición influenciado por la altitud. Los veranos son relativamente frescos con una abundante nubosidad, así como precipitaciones distribuidas de manera uniforme a lo largo del año, en forma de nieve en altitudes elevadas en los meses invernales.

La geología predominante se compone de rocas sedimentarias del mesozoico-terciario y de naturaleza mixta, y la morfogénesis del relieve proviene de la orogenia alpina con una geología muy ligada a la formación de Los Pirineos. La gran diversidad de factores geológicos climáticos, edafológicos etc. determinan la biodiversidad presente en el Cantábrico Oriental. Los ecosistemas se encuadran biogeográficamente en la región Eurosiberiana, y, en función de las condiciones climáticas ligadas a la altitud se presentan los pisos bioclimáticos Colino y Montano (PH, 2021).

Localización de las turberas



0 20 40 80 120 160 Kilometros



Leyenda

- Turbera de Zalama
- Turbera de Arbarrain
- ▲ Turbera de Gesaleta

Figura 5.1: Localización de las turberas en la península ibérica (Elaboración propia a partir de CNIG)

La turbera de Zalama ($43^{\circ} 8' 6''\text{N}$, $3^{\circ} 24' 35''\text{W}$), se encuentra ubicada en la divisoria entre País Vasco, Cantabria y la provincia de Burgos (Castilla y León) a una altitud de 1330 m s.n.m., presentando el área una geología predominantemente sedimentaria formada por rocas del cretácico, así como areniscas con abundante cuarzo. Dada su ubicación geográfica, la turbera de Zalama se encuentra inmersa en un entorno de clima puramente atlántico con la evidente influencia que acarrea su elevada altitud. Como referencia actual, la estación

meteorológica más próxima se ubica a 10 km al norte de la turbera, aunque con una altitud menor (677 m s.n.m.), los datos climatológicos de dicha estación arrojan unos datos de temperaturas y pluviosidad anual típicos del clima puramente atlántico con una temperatura media anual de 13,7° C y unas precipitaciones medias anuales de 1341mm, por tanto, es indiscutible que a la altitud de la turbera las precipitaciones serán más abundantes y las temperaturas medias anuales más bajas.

La vegetación predominante en el área de la turbera del Zalama se compone esencialmente de un páramo con turberas con vegetación puramente ombrotrofica que se nutre única y exclusivamente del agua procedente de las precipitaciones. La vegetación arbórea se compone de hayedos acidófilos en altitudes más moderadas, y, en la vertiente sur con una insolación notablemente mayor se presentan especies como *Quercus pyrenaica* así como bosques de pino albar (*Pinus sylvestris*) (Perez Díaz *et al.*, 2016).



Figura 5.2: Vista general de la turbera desde la cumbre del Zalama (Heras Pérez, 2002).

La turbera de Arbarrain (42°54'00.0"N, 2°14'24.0"W) se encuentra ubicada en la Sierra de Urkilla, en el País Vasco, a una altitud de 1004 m s.n.m. hallándose muy próxima al área de

influencia del mediterráneo. La geología predominante en este sector del área de estudio consiste en rocas de carácter sedimentario predominantemente del Cretácico Inferior, así como areniscas.

En cuanto a las condiciones climatológicas actuales se confirma el carácter atlántico del clima. La estación meteorológica que se encuentra más próxima a la turbera (Zegama) registra unos valores termo pluviométricos propios de un clima atlántico con unas precipitaciones medias anuales de 1480 mm así como una temperatura media anual de 13.4 °C, (Euskalmet 2011). Hay que recalcar que, como en el caso anterior, la estación se ubica a una altitud más moderada (520 m s.n.m.) por lo que las condiciones climáticas en la turbera son, presumiblemente, más adversas con una precipitación mayor, así como unas temperaturas inferiores.



Figura 5.3: Turbera de Arbarrain (Guipúzcoa). Fuente: Sebastián Pérez-Díaz

La vegetación presente en este entorno está conformada por especies de carácter higrófilo las cuales presentan un crecimiento óptimo en condiciones de elevada humedad, entre estas especies cabe destacar *Molinia caerulea*, *Narthecium ossifragum*, *Ranunculus flammula*, *Carex echinata* entre otras. Las comunidades arbóreas presentes en las inmediaciones de la turbera se componen de hayedos acidófilos, muy comunes en esta área con *Fagus sylvatica*,

Ilex aquifolium, *Vaccinium myrtillus*, entre otras especies. En altitudes más moderadas de la vertiente norte dentro de este sector las comunidades vegetales de carácter arbóreo están formadas por *Quercus pyrenaica*, *Crataegus monogyna*, *Erica arborea*, *Juniperus communis* etc. En la vertiente sur, con mayores índices de insolación, así como una pluviometría más modesta, las comunidades arbóreas se componen de *Quercus faginea*, *Acer campestre*, *Viburnum lantana* etc (Pérez Díaz *et al.*, 2018).

La turbera de Gesaleta (42° 58' 59" N, 1° 34' 14" W) se encuentra ubicada en el norte de Navarra, aproximadamente a 3 km del embalse de Eugi en el Valle de Anue a una altitud de 900 m s.n.m. La geología que compone el área de la turbera se basa en areniscas y conglomerados del Cretácico Inferior, así como arcillas del Keuper y margas del Cretácico Superior (Heras Pérez *et al.*, 2011).

Este enclave se halla en el área de influencia pirenaica y, por tanto, presenta unas condiciones más continentalizadas que en los ambientes atlánticos debido fundamentalmente a la lejanía con el mar, así como la elevada altitud. La estación meteorológica de Eugi es la más cercana, encontrándose a una altitud de 617 m s.n.m. y midiendo una temperatura media anual de 11,7°C y unas precipitaciones anuales totales de 1353 mm (CHE, 2020). Dada su moderada altitud se puede estimar que las precipitaciones serán mayores en el área de la turbera y las temperaturas significativamente inferiores debido a la diferencia de altitud.

La vegetación es variada, en cuanto a ejemplares de carácter arbóreo los pinares de turbera se encuentran en este enclave, son pequeños bosques formados por *Pinus sylvestris* var *pyrenaica* que se han desarrollado sobre suelos de carácter turboso. En el techo forestal también se hallan especies como hayas, arboles de bosques secundarios como *Betula pendula* var. *Meridionalis*, *B. celtibérica* y *Sorbus aucuparia*. En el sotobosque se encuentran especies de tubera como *Sphagnum sp*, *Erica tetralix* y *Carex echinata*, así como otras acidófilas como *Festuca heterophylla* y *Vaccinium myrtillus* (García *et al.*, 2020).

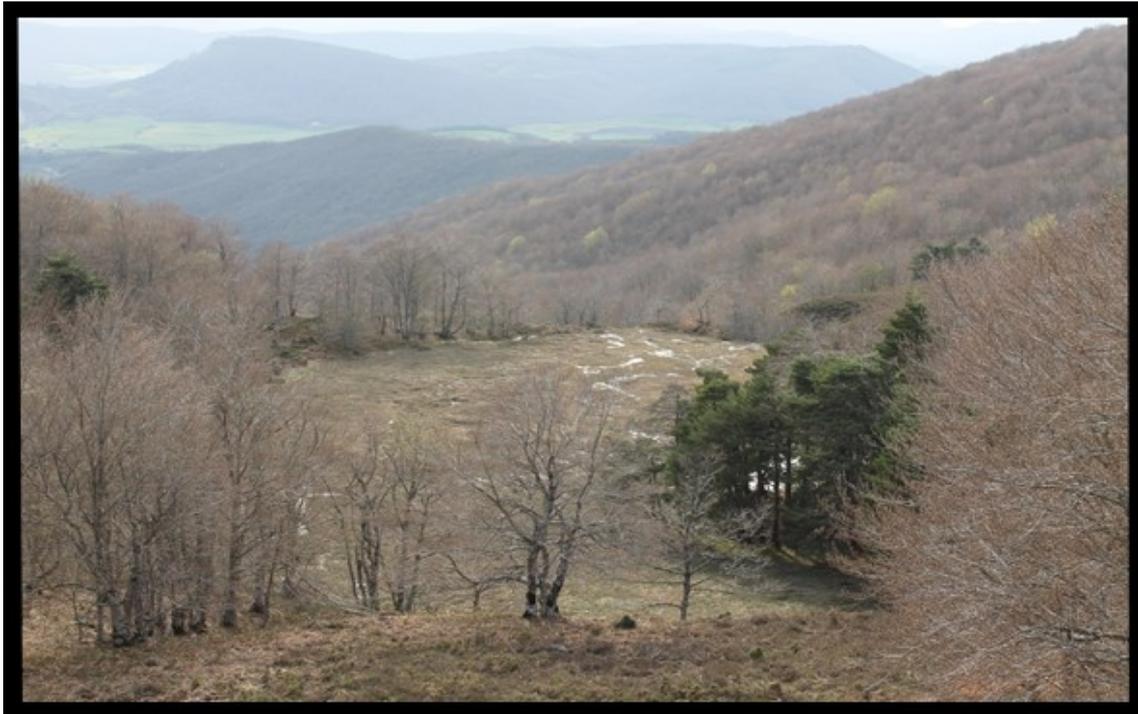


Figura 5.4: Turbera de Gesaleta (Navarra) Fuente: Sebastián Pérez-Díaz

6. MATERIAL Y MÉTODOS

La primera fase del trabajo ha consistido en la selección de las ubicaciones geográficas más idóneas para el objetivo deseado, en este caso se han elegido tres turberas en el marco del área de estudio, debido principalmente a factores de altitud, orientación, así como debido al número de muestras que, a priori, están datadas en el marco cronológico seleccionado (Figura 5.1). El número de estos registros supone un aspecto fundamental, ya que un mayor número garantiza en cierta medida una reconstrucción paleoclimática con un mayor grado de resolución.

Posteriormente, se ha procedido a la descarga de los datos accediendo a la página web European Pollen Database, que consiste esencialmente en una gran base de datos europea de polen, que provee de datos y metadatos de registros de polen fósiles de diversos orígenes (turberas, sedimentos lacustres, sedimentos marinos, yacimientos arqueológicos, etc).

Las muestras, que contienen polen fósil, han seguido un proceso de datación mediante radiocarbono realizado por laboratorios especializados. Las cronologías obtenidas han sido

calibradas utilizando el software CALIB 8.2 a sigma 2 (95,4% de probabilidad) y se proporcionan en “cal year BP” que expresa edades calibradas antes del presente. Esta calibración es necesaria para adecuarlas a los años del calendario actual. Esto es debido fundamentalmente a que las fechas de radiocarbono se ven afectadas en gran medida por la cantidad de carbono presente en nuestra atmosfera y dicha cantidad se ve alterada por factores tanto naturales como antropogénicos que son dinámicos.

TURBERA DE ZALAMA			
Depth	Age uncalibrated BP	Age Cal BP	Median age (cal BP)
15-16	635 ± 30	554-661	600
21-22	990 ± 40	792-957	868
31-32	1245 ± 34	1070-1275	1186
42-44	1755 ± 30	1548-1714	1644
56-58	2920 ± 50	2885-3214	3067
66-68	3142 ± 34	3253-3448	3369
78-80	3321 ± 31	3457-3632	3531
90-92	3740 ± 30	3984-4226	4095
118-120	4757 ± 41	5328-5587	5512
130-132	5076 ± 40	5727-5916	5816
144-146	5454 ± 38	6128-6309	6243
160-162	5615 ± 35	6306-6484	6381
176-178	5858 ± 38	6560-6781	6679
200-202	6561 ± 47	7339-7569	7469
210-212	6826 ± 47	7577-7750	7656
222-224	7095 ± 35	7841-8007	7927
230-232	7150 ± 50	7846-8036	7969
TURBERA DE ARBARRAIN			
20	1155 ± 30	1176-961	1059
45	2380 ± 30	2665-2342	2403
60	3761 ± 30	4236-3990	4123
68	4125 ± 30	4817-4529	4668
78	5120 ± 32	5934-5749	5829
87	5483 ± 39	6392-6199	6286
90	5945 ± 30	6877-6672	6768
92	7430 ± 30	8335-8183	8264
TURBERA DE GESALETA			
85-87	183 ± 56	50-306	172
127-129	413 ± 34	328-523	479
163-165	2655 ± 25	2740-2844	2762
185-187	4352 ± 30	4849-5027	4917
219-221	6020 ± 40	6745-6958	6861
232,5-234	6432 ± 30	7280-7424	7362
248,5-251	6623 ± 32	7431-7571	7509
270-272	8523 ± 37	9476-9543	9511
288-290,5	9385 ± 37	10504-10706	10616
303-305	9817 ± 34	11191-11266	11229
311-313	9950 ± 50	11242-11686	11378

Tabla 6.1: Dataciones de C14 procedentes de las turberas analizadas, todas han sido calibradas usando el software CALIB

8.2

Obtenidas las correspondientes calibraciones (Tabla 6.1) se han creado los modelos de edad-profundidad, que muestran la relación existente entre la profundidad y la edad de los sedimentos. De este modo, a cada centímetro del testigo de sedimento obtenido se le asigna con una fecha estimada.

Por último, se ha realizado la reconstrucción paleoclimática propiamente dicha mediante la Técnica de Análogos Modernos (MAT) usando para ello las funciones de transferencia con el software C2. Para poder calibrar de un modo más adecuado los cambios que la PEH haya podido inducir sobre la cobertura vegetal, se ha realizado una reconstrucción paleoclimática de las tres secuencias analizadas desde el año 1200 cal BP, abarcando el período previo a la PEH, la PEH en sentido estricto y la fase posterior.

Las reconstrucciones cuantitativas cuyo propósito es explicar las variables climáticas o ambientales se basan en el principio de uniformismo y actualismo, esto quiere decir que se asume que la relación que existe entre los organismos y su medioambiente más cercano se ha mantenido de manera constante, al menos durante el Cuaternario Tardío (Zamora Allendes, 2013). *“Las funciones de transferencia permiten obtener, a través de la interpretación cuantitativa, aproximaciones matemáticas que son capaces de reconstruir las condiciones paleo-climáticas que originaron la distribución y biodiversidad de los ecosistemas a escala espacio-temporal, vinculando la información auto ecológica contemporánea con el registro fósil”* (Quinzo, 2011).

Seguidamente a encontrar la muestra moderna que más se asemeja al conjunto fósil, se puede deducir que el clima pasado en el que se desarrolló la muestra fósil es similar a las condiciones climáticas actuales, y, a través de dicha muestra moderna se puede estimar el clima y otras características del ecosistema del análogo fósil.

Las reconstrucciones cuantitativas basadas en registros orgánicos suponen en esencia la utilización de datos fósiles, conocidos como proxys, de un rango temporal específico para poder inferir condiciones paleo-ambientales por ejemplo precipitación anual o temperatura media anual del rango temporal seleccionado en los conjuntos fósiles estudiados.

Es necesario para este propósito conocer la distribución y abundancia actual de todos los taxones presentes en el registro fósil concreto y su relación con el clima actual, por este motivo se han seleccionado taxones concretos que son sensibles a variaciones climáticas. La relación entre ocurrencia y abundancia de las variables climáticas actuales permite reconstruir las condiciones climáticas pasadas a partir de conjuntos fósiles (Zamora Allendes, 2013).

7. RESULTADOS

7.1 TURBERA DE ZALAMA

En las Figuras 7.1.1 y 7.1.2 se representan los diagramas de evolución paleoclimática obtenidos mediante la Técnica de Análogos modernos (MAT) para los últimos 1200 años, las Figuras muestran las variables relativas a temperaturas y precipitaciones medias para la turbera de Zalama.

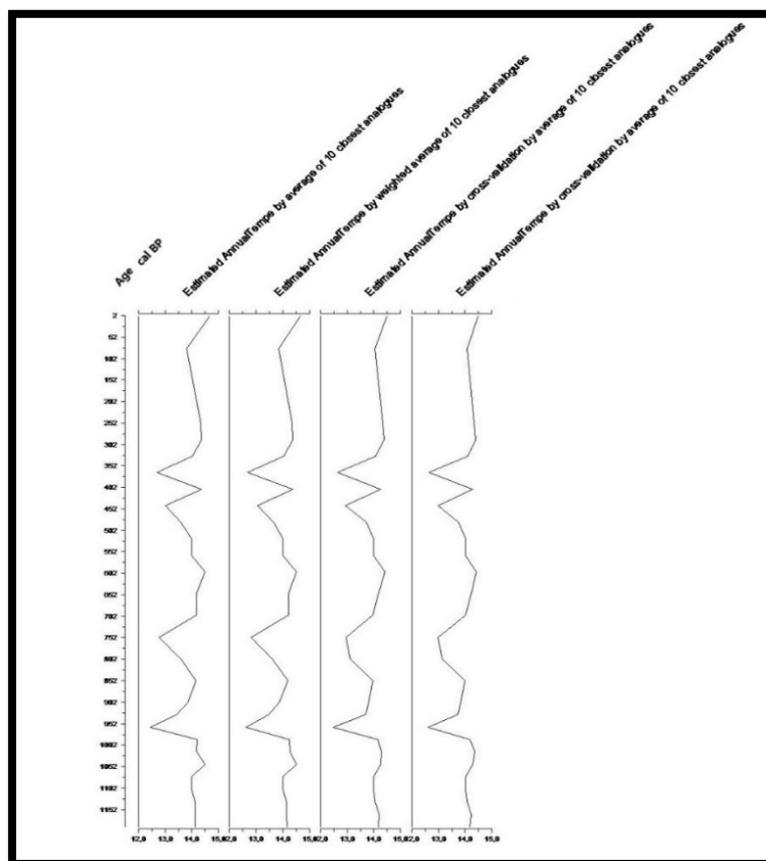


Figura 7.1.1 Reconstrucción Paleoclimática utilizando la técnica MAT, donde se observa la historia de los valores estimados de temperaturas medias anuales para la turbera de Zalama.

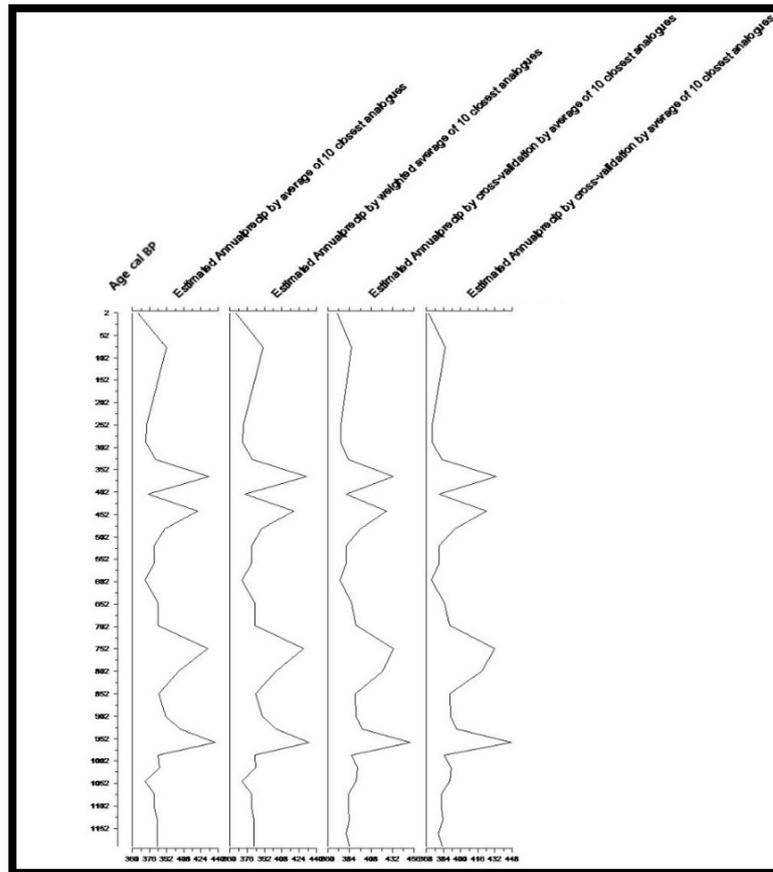


Figura 7.1.2 Reconstrucción Paleoclimática utilizando la técnica MAT, donde se observa la historia de los valores estimados de precipitaciones medias anuales para la turbera de Zalama.

Los resultados obtenidos permiten apreciar 3 fases climáticas con cierta claridad durante los últimos 1200 años en esta ubicación específica.

7.1.1: Fase 1: 1200- 700 cal BP

Esta fase, a su vez se puede subdividir en dos y se caracteriza por unas temperaturas y precipitaciones anuales con una relativa estabilidad *ca.* 1200-1000 cal BP, no apreciándose oscilaciones térmicas reseñables, y, lo mismo ocurre en el caso de las precipitaciones, que se caracterizan por ser regulares con unos valores constantes (Figura 7.1.2). A lo largo de esta fase la escasa variabilidad es la tónica predominante, sin embargo, se da una excepción en un lapso temporal (1000-700 cal BP), en el cual se presenta una mayor variabilidad climática con unas temperaturas anuales con tendencia negativa que descienden de manera significativa alrededor de 950 cal BP, asociadas a su vez con un aumento considerable de

las precipitaciones, este hecho puede deberse al mínimo solar de Oort. Este periodo de relativa estabilidad climática se enmarca en el final del denominado óptimo climático medieval, conocido por ser un periodo moderadamente cálido que se produjo en el atlántico norte, y, que fue la antesala de la PEH que comenzó alrededor del siglo XIV (Maan, 2002).

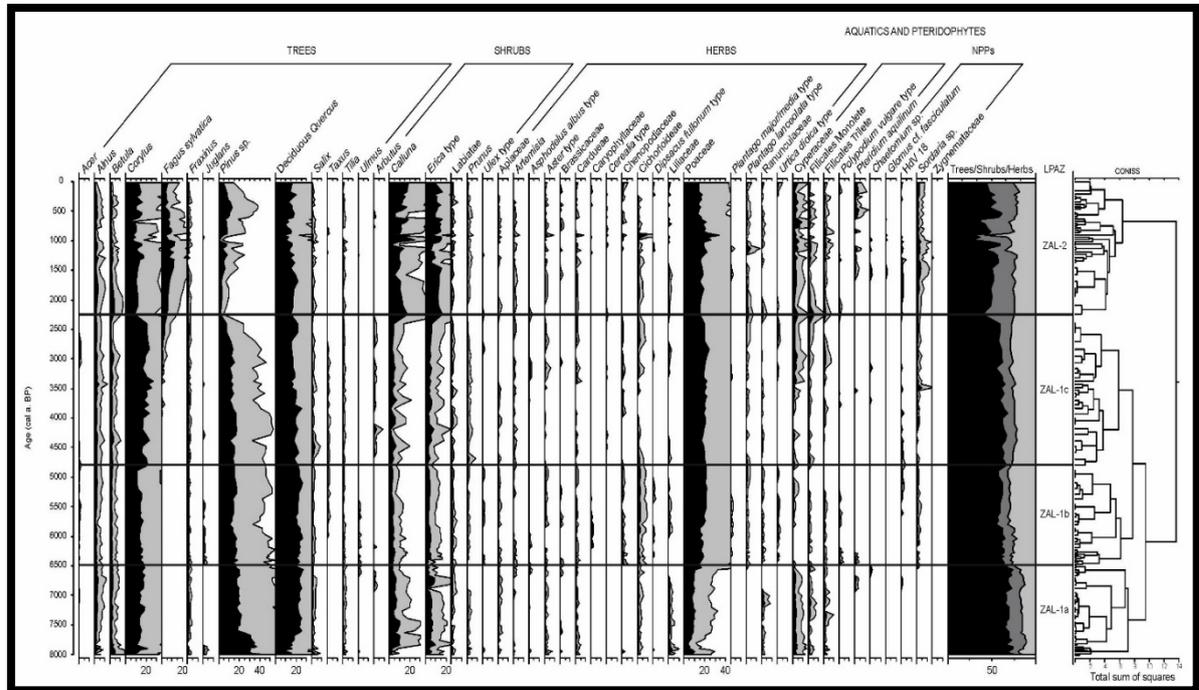


Figura 7.1.3. Diagrama de polen de la turbera de Zalama. (Pérez Díaz *et al.*, 2016)

En esta fase entre los árboles, los taxones más importantes son el avellano (*Corylus*), el haya (*Fagus sylvatica*), el pino albar (*Pinus silvestris*) y el roble (*Quercus caducifolia*). En el diagrama palinológico de la turbera de Zalama (Figura 7.1.3) se aprecia una reducción considerable de los taxones mencionados coincidiendo cronológicamente con el lapso temporal antes descrito en el cual la reducción de las temperaturas fue notable (1000-700 cal BP). Entre las herbáceas el taxón más relevante en esta fase es Poaceae

7.1.2: Fase 2: 700- 100 cal BP

Esta fase se corresponde con la PEH propiamente dicha. La caracterización del paleoclima en este periodo se da por la tendencia negativa de las temperaturas anuales y un aumento sostenido de las precipitaciones. En diversos subperiodos se pueden apreciar mínimos

térmicos muy marcados en los cuales se produce un aumento sustancial de las precipitaciones coincidiendo con estas fases más frías en el ámbito de la turbera. Cabe resaltar la anomalía térmica negativa que se produce *ca.* 350 cal BP coincidiendo con el mínimo de Maunder, que fue un periodo con una escasa presencia de manchas solares en la superficie del sol siendo esta la fase más fría de la PEH.

La tendencia negativa de las temperaturas es la tónica general de este periodo, las precipitaciones sin embargo presentan una mayor variabilidad sin una tendencia significativa durante los primeros 400 años de la PEH (700-300 cal BP) pudiéndose apreciar la correlación existente entre el descenso de las temperaturas y el aumento de las precipitaciones durante los mínimos solares.

Posteriormente 300-100 cal BP se puede establecer el periodo final de la PEH con unas temperaturas anuales con una clara tendencia negativa, así como un mayor volumen pluviométrico asociado, esta tendencia se mantiene hasta *ca.* 100 cal BP (finales del siglo XIX).

En esta fase entre los árboles cabe destacar el impacto significativo que producen los cambios termo-pluviométricos en la cobertura vegetal, pudiéndose apreciar en el diagrama palinológico un descenso acusado del taxon del avellano (*Corylus*) durante las fases más frías de la PEH. La encina (*Quercus perennifolio*) así como el pino albar (*Pinus silvestris*) muestran un descenso relevante de la presencia de estos taxones en el área de la turbera del Zalama, si bien es cierto que el acusado descenso del pino puede deberse a factores antropogénicos por el uso de su madera.

Entre los arbustos los taxones más relevantes se corresponden con brezales de *Calluna* y *Erica* los cuales también presentan merma su presencia en el área de la turbera durante los periodos más fríos de esta fase.

7.1.3: Fase 3: 100 cal BP – actualidad

En esta fase, que es posterior a la PEH, la caracterización del clima se resume en un aumento acusado de las temperaturas medias anuales, así como un descenso progresivo de las precipitaciones, estos cambios se enmarcan en el actual contexto de calentamiento global que viene sucediendo desde la revolución industrial, debido única y exclusivamente a la acción humana motivado por la emisión a la atmosfera de ingentes cantidades de gases de efecto invernadero.

Este aumento generalizado de temperaturas, así como el descenso en el volumen de las precipitaciones tiene una incidencia reseñable en las herbáceas, las gramíneas (*Poaceae*) han disminuido su presencia en el área de la turbera. Entre los árboles se destaca el notable aumento de la presencia del haya (*Fagus sylvatica*) debido en esencia a las condiciones más secas de la climatología actual.

7.2 TURBERA DE ARBARRAIN

En las Figuras 7.2.1 y 7.2.2 se representan los diagramas de evolución paleoclimática obtenidos mediante la Técnica de Análogos modernos (MAT) para los últimos 1200 años, las figuras muestran las variables relativas a temperaturas y precipitaciones medias para la turbera de Arbarrain.

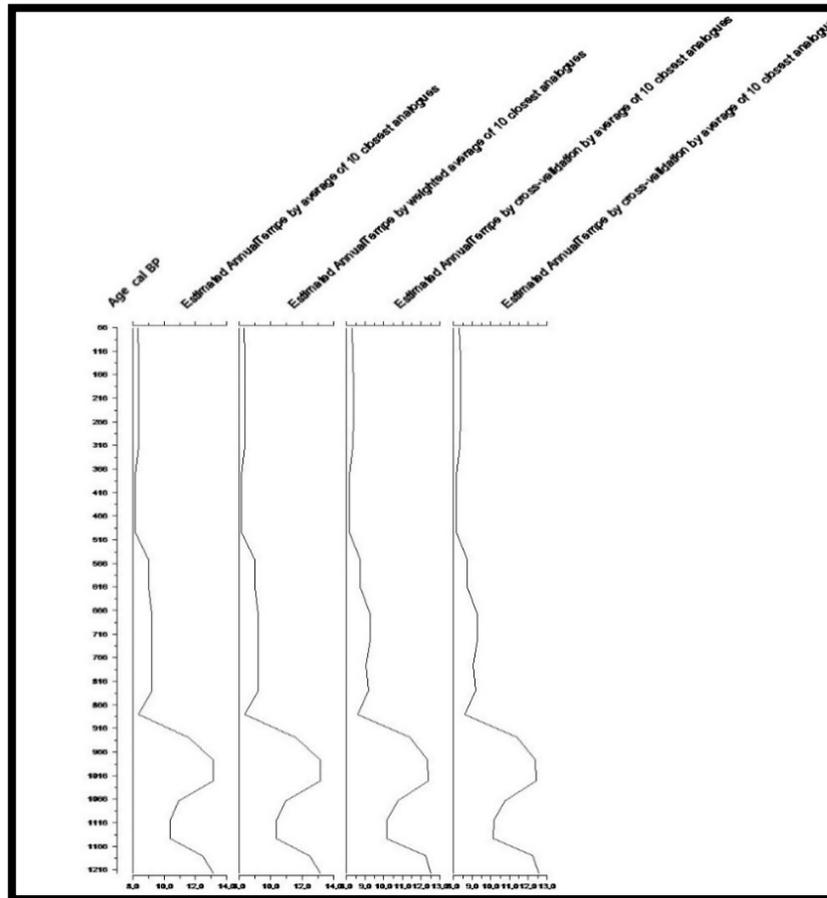


Figura 7.2.1 Reconstrucción Paleoclimática utilizando la técnica MAT, donde se observa la historia de los valores estimados de temperaturas medias anuales para la turbera de Arbarrain

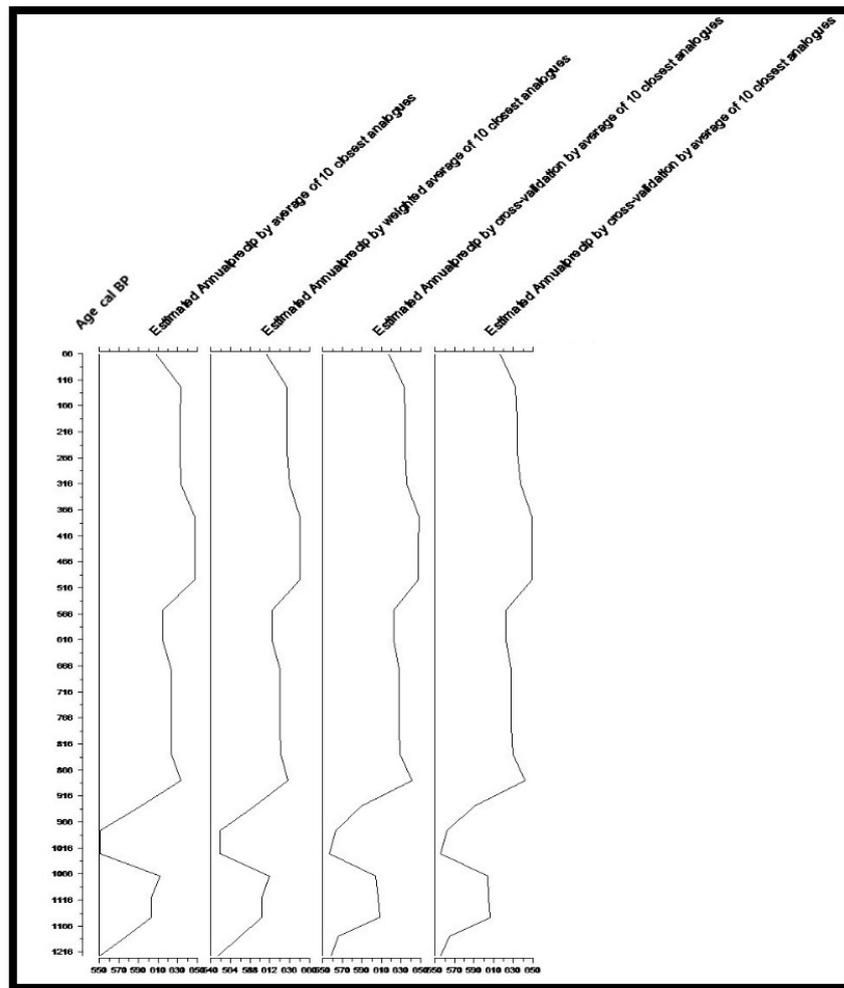


Figura 7.2.2 Reconstrucción Paleoclimática utilizando la técnica MAT, donde se observa la historia de los valores estimados de precipitaciones medias anuales para la turbera de Arbarrain

A tenor de los resultados obtenidos en la reconstrucción paleoclimática realizada para esta turbera se pueden diferenciar 3 fases climáticas diferenciadas.

7.2.1: Fase 1: 1200 – 950 cal BP

En esta fase se puede apreciar una ligera variabilidad climática sin una tendencia definida en temperaturas o precipitaciones, las oscilaciones termo-pluviométricas son bastante evidentes siempre dentro del contexto de clima relativamente frío que caracteriza a una ubicación con una altitud elevada. Se produce un descenso acusado de las temperaturas

medias anuales en un rango temporal concreto (*ca.* 1166-1066 cal BP) que lleva asociado un aumento de las precipitaciones, si bien esta variación climática es puntual y seguidamente se vuelven a alcanzar los valores termo-pluviométricos previos.

El descenso acusado de las temperaturas en el rango temporal antes mencionado tiene una incidencia clara en algunos taxones vegetales tal y como se puede apreciar en el diagrama palinológico de la turbera de Arbarrain (Figura 7.2.3).

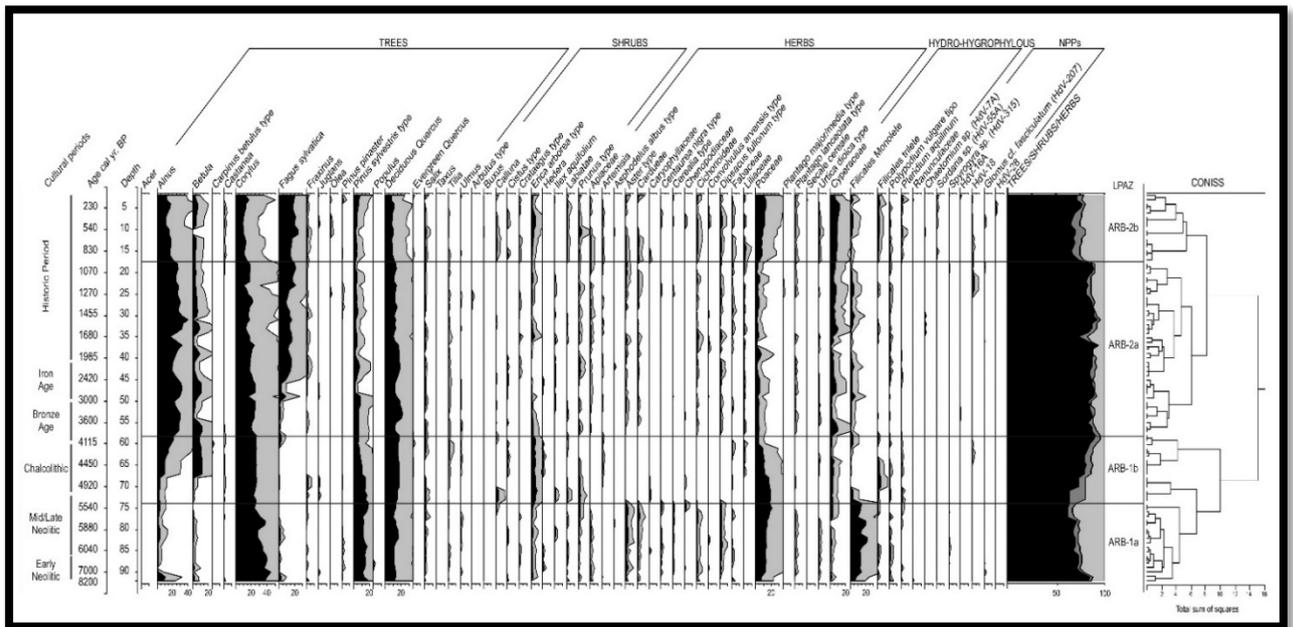


Figura 7.2.3. Diagrama de polen de la turbera de Arbarrain. (Pérez Díaz *et al.*, 2018)

Entre los árboles se puede observar un aumento considerable en el periodo antes reseñado (1166-1066 cal BP) del taxon de avellano (*Corylus*) asociado al aumento de las precipitaciones, así como un ligero descenso de la presencia del pino albar (*Pinus sylvestris*). Las herbáceas se mantienen constantes sin cambios significativos a excepción de las gramíneas (*Poaceae*) que experimentan un ligero repunte en el episodio frío mencionado.

7.2.2: Fase 2: 950 – 520 cal BP

En este periodo temporal el clima experimenta un importante descenso de las temperaturas, así como un repunte considerable en el volumen de las precipitaciones medias anuales. El descenso de los valores térmicos anuales se ve levemente mitigado por un cierto repunte de las temperaturas que se mantienen constantes *ca.* 820 – 520 cal BP, lo mismo ocurre con las precipitaciones, que se mantienen constantes en este lapso temporal. Los cambios de las condiciones climáticas tienen su incidencia en la vegetación tal y como se puede apreciar en el diagrama palinológico de la turbera de Arbarrain (Figura 7.2.3).

Entre los árboles, el taxon del avellano (*Corylus*) ve descendida de manera significativa su presencia en el entorno de la turbera *ca.* 950 cal BP coincidiendo cronológicamente con el descenso de las temperaturas mencionado. El taxon del roble (*Quercus*) se ve afectado de igual manera, apreciándose un leve descenso de dicha especie asociado al cambio de temperaturas, mientras que el taxón del pino albar (*Pinus sylvestris*) se ve incrementado.

Entre los arbustos es destacable mencionar al aumento de la presencia del taxon del brezo (*Erica arborea*) a partir de 950 cal BP. En cuanto a las herbáceas es significativo el aumento de las gramíneas.

En cuanto a las especies herbáceas este periodo es destacable señalar el marcado aumento de la presencia de gramíneas (Poaceae)

7.2.3: Fase 3: 520 – 100 cal BP

El paleoclima de esta fase climática se corresponde con la PEH propiamente dicha en términos cronológicos. Las variables climáticas comienzan a dar signos de cambio, pudiéndose apreciar un descenso paulatino y sostenido de las temperaturas medias anuales que se mantiene más o menos constante 400 años aproximadamente, con un ligero mínimo comprendido *ca.* 470 - 366 cal BP. Las precipitaciones por su parte están en consonancia con estos cambios y ven alterada su tendencia con un aumento significativo en cuanto a precipitaciones medias anuales se refiere al inicio de la PEH, dichas precipitaciones se mantienen relativamente constantes hasta el final de ese episodio frío.

Las implicaciones en la cobertura vegetal son más que evidentes pudiéndose apreciar cambios muy palpables en la presencia de ciertos taxones vegetales (Figura 7.2.3). Entre las especies arbóreas es significativo el descenso acusado del aliso (*Alnus*) así como el repunte

del abedul (*Betula*) y del pino albar (*Pinus sylvestris*) coincidiendo con el acusado descenso de las temperaturas y el aumento de las precipitaciones.

Entre las especies arbustivas el brezo (*Erica arborea*) se mantiene como la más predominante en este lapso temporal mientras que el taxon *Prunus* ve alterada negativamente su presencia en el entorno de la turbera. Las especies herbáceas tienen como su principal exponente a las gramíneas (Poaceae) que continúan en este periodo su ascenso paulatino en cuanto a su presencia se refiere en esta ubicación y en esta franja temporal.

7.2.4: Fase 4: 100 cal BP – Actualidad

En esta etapa posterior al episodio frío que caracterizó a la PEH no se aprecian unos cambios significativos en cuanto a temperaturas medias anuales se refiere, pudiéndose apreciar una cierta estabilidad sin tendencias concretas. No ocurre lo mismo en el caso de las precipitaciones, pudiéndose observar un cambio de tendencia caracterizado por un paulatino descenso de los acumulados anuales que se enmarca en el actual cambio climático que trae consigo una mayor variabilidad meteorológica. Los cambios en las precipitaciones tienen su efecto en la cobertura vegetal observándose un cambio *ca.* 100 cal BP.

Entre los árboles este periodo temporal destaca por la reducción del taxón del aliso (*Alnus*) así como del abedul (*Betula*) y avellano (*Corylus*), por su parte el haya común (*Fagus sylvatica*) se mantiene como el taxón predominante. Entre las especies herbáceas las gramíneas (Poaceae) mantienen su posición predominante, apreciándose eso sí un ligero descenso en su presencia probablemente ligado a la variación del volumen de las precipitaciones, se observa también un descenso en el taxon Cyperaceae.

7.3 TURBERA DE GESALETA

En las Figuras 7.3.1 y 7.3.2 se representan los diagramas de evolución paleoclimática obtenidos mediante la Técnica de Análogos modernos (MAT) para los últimos 1200 años, las figuras muestran las variables relativas a temperaturas y precipitaciones medias para la turbera de Gesaleta.

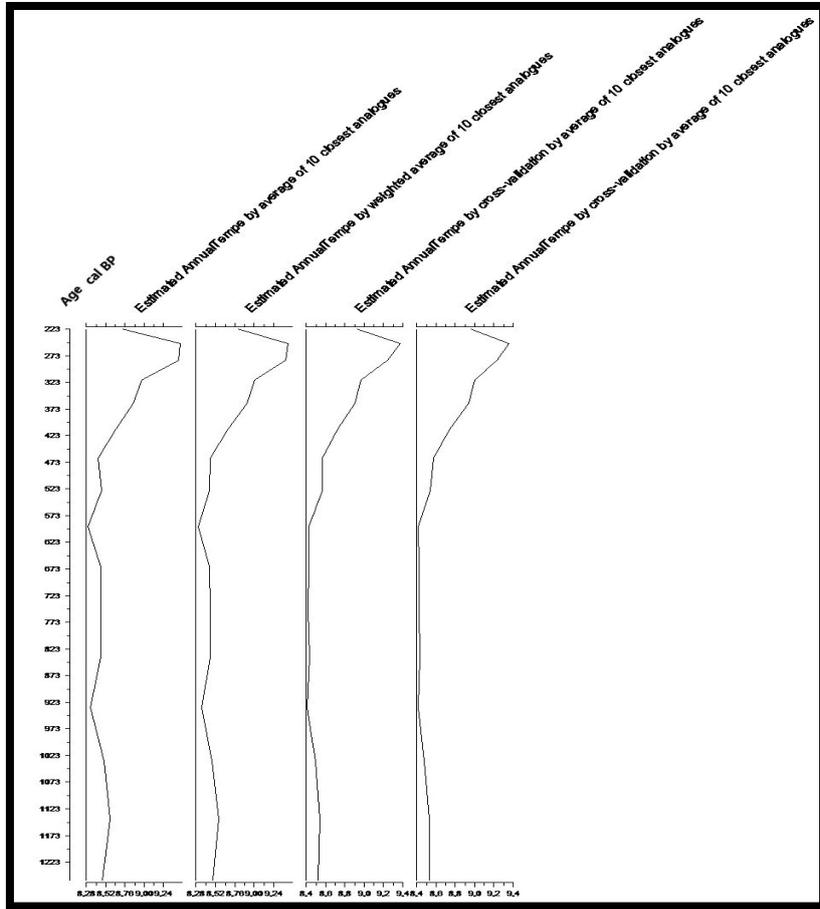


Figura 7.3.1 Reconstrucción Paleoclimática utilizando la técnica MAT, donde se observa la historia de los valores estimados de temperaturas medias anuales para la turbera de Gesaleta

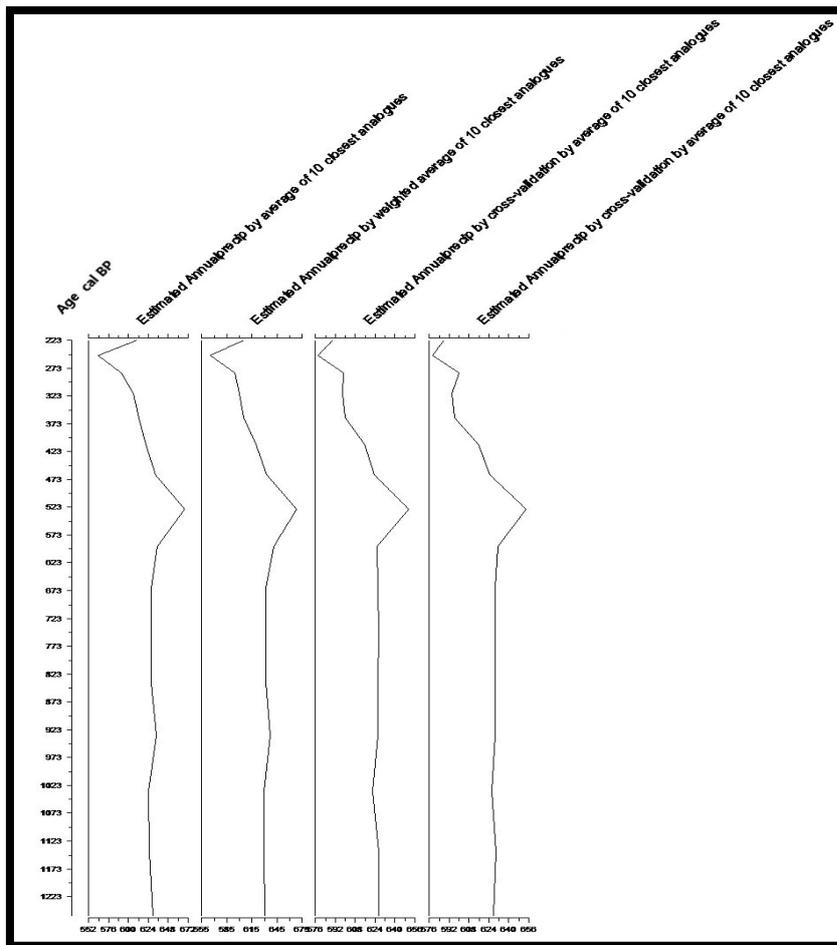


Figura 7.3.2 Reconstrucción Paleoclimática utilizando la técnica MAT, donde se observa la historia de los valores estimados de precipitaciones medias anuales para la turbera de Gesaleta

Los resultados derivados de la reconstrucción paleoclimática realizada permiten definir tres etapas o fases climáticas más o menos diferenciadas.

7.3.1: Fase 1: 1200 – 570 cal BP

Los resultados obtenidos permiten definir el paleoclima de esta fase como muy estable y regular en cuanto a temperaturas y precipitación se refiere, no se aprecia ningún cambio significativo ni oscilación térmica reseñable y los valores son constantes en el tiempo. Si bien se puede apreciar que, en torno a 600 cal BP y hasta 450 cal BP, se produce un cierto

repunte de las precipitaciones el cual no es muy significativo pero que, a priori, tiene una relativa incidencia en varios taxones vegetales, se aprecia de manera clara observando los datos representados en la (Figura 7.3.3) que muestra el diagrama palinológico de la turbera de Gesaleta.

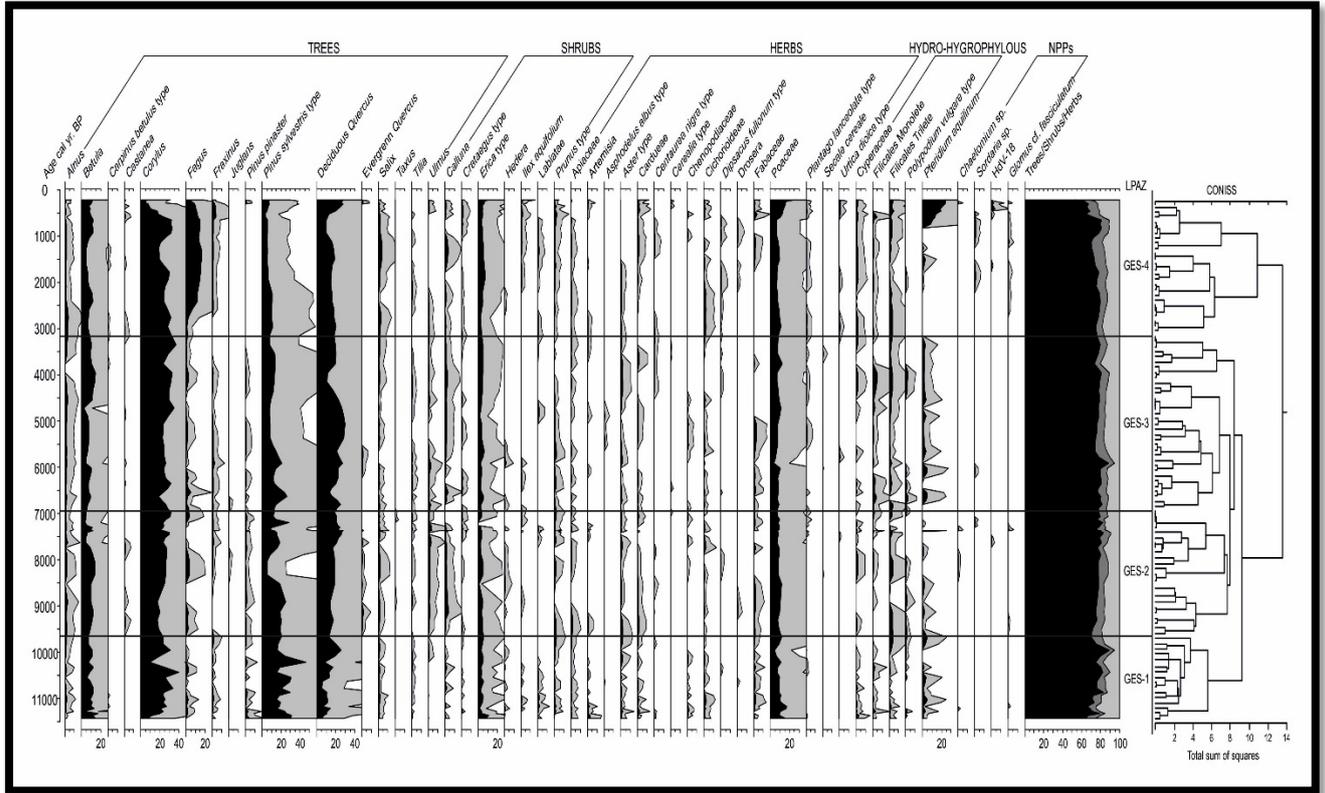


Figura 7.3.3. Diagrama de polen de la turbera de Gesaleta. (Ruiz Alonso *et al.*, 2018)

Entre la flora arbórea cabe destacar la presencia dominante en esta franja temporal del abedul (*Betula*), avellano (*Corylus*), haya (*Fagus*) y el roble (*Quercus robur*) sin que haya en estos taxones variaciones reseñables en el lapso temporal indicado. El taxon del pino albar (*Pinus sylvestris*) ve reducida su presencia en relación con el episodio húmedo antes descrito (600 – 450 cal BP) mientras que el fresno (*Fraxinus*) aumenta de manera notoria.

Entre el cortejo arbustivo predomina el brezo (*Erica*), así como el acebo (*Ilex aquifolium*) si bien estas dos especies de arbustos se ve alteradas en el periodo cronológico analizado, viéndose reducida su presencia de manera significativa.

Entre la flora herbácea son varios los elementos destacables, en primer lugar, las gramíneas (Poaceae) son el taxon predominante, aunque ven reducida su presencia de manera leve. En segundo lugar, se observa una coincidencia cronológica muy marcada con dos herbáceas concretas, el cardo (*Dipsacus fullonum*) y el rocío del sol (*Drosera*) hacen aparición en el entorno de la turbera única y exclusivamente en el periodo cronológico de esta fase concreta, para luego desaparecer espontáneamente.

7.3.2: Fase 2: 570- 470 cal BP

La reconstrucción del paleoclima realizada permite apreciar en este rango temporal un descenso notable de las temperaturas medias anuales, que lleva asociado un incremento sustancial de las precipitaciones, siendo el punto álgido de este episodio *ca.* 550 cal BP. Estas características climáticas se mantienen durante un periodo aproximado de 100 años y tienen un impacto en la vegetación.

En este breve periodo entre la flora arbórea la predominancia de los taxones antes mencionados se sigue sucediendo, siendo los más importantes el abedul (*Betula*), avellano (*Corylus*), haya (*Fagus*) y el roble (*Quercus*). El aliso (*Alnus*) merma su presencia y el avellano (*Corylus*) experimenta una relativa recuperación, por el contrario, el castaño (*Castanea*) y el fresno (*Fraxinus*) ven incrementada de manera notable su presencia en el entorno de la turbera.

Entre los arbustos no se aprecia una incidencia palpable derivada de esta fase climática, el taxón predominante sigue siendo el brezo (*Erica*) si bien su presencia en el entorno de la turbera se reduce ligerísimamente.

La vegetación de carácter herbáceo sigue teniendo al taxón de las gramíneas (Poaceae) (véase Figura 7.3.4) como su principal exponente. El taxón (Fabaceae) ve alterada su presencia disminuyendo ligeramente en este lapso temporal concreto.

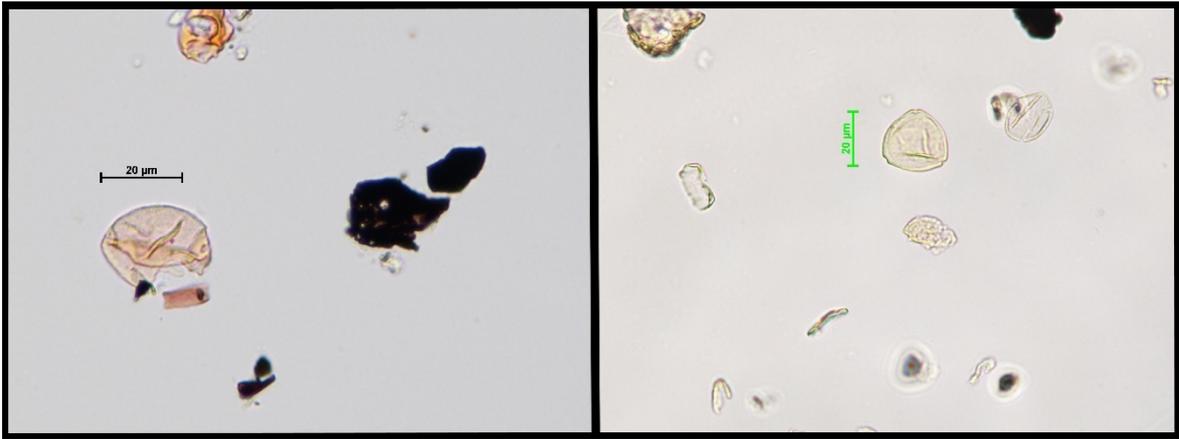


Figura 7.3.4: Imágenes de microscopio correspondiente a los taxa Poaceae y *Corylus*

7.2.3: Fase 3: 470 – 250 cal BP

La caracterización del paleoclima en esta fase se da por la tendencia positiva de las temperaturas, que comienzan a experimentar un notable repunte en sus valores medios anuales en el periodo analizado con unos valores significativamente más elevados que en la fase anterior, las precipitaciones por su parte experimentan una tendencia negativa con una reducción considerable de los acumulados medios anuales. Estas tendencias climáticas se mantienen de manera sostenida durante la duración de esta fase. La correlación entre temperatura y precipitaciones es más que evidente, cuando los valores térmicos medios anuales repuntan de manera positiva las precipitaciones siguen una tendencia inversa.

Entre la vegetación arbórea los taxones principales siguen siendo el abedul (*Betula*), avellano (*Corylus*), haya (*Fagus*) y el roble (*Quercus*) (Figura 7.3.5). El abedul, pino albar y el roble reflejan un repunte en cuanto a la presencia de sus taxones refiere en este periodo climático concreto, por el contrario, el avellano, el haya y el pino marítimo (*Pinus pinaster*) experimentan un cierto descenso de los porcentajes de polen presentes en las muestras. Es reseñable destacar la aparición en este periodo de un nuevo taxón correspondiente al olmo (*Ulmus*) aprovechando las condiciones más secas del clima, esto es un reflejo fiel de la correlación existente entre el clima y cómo este afecta a las especies vegetales y su distribución.

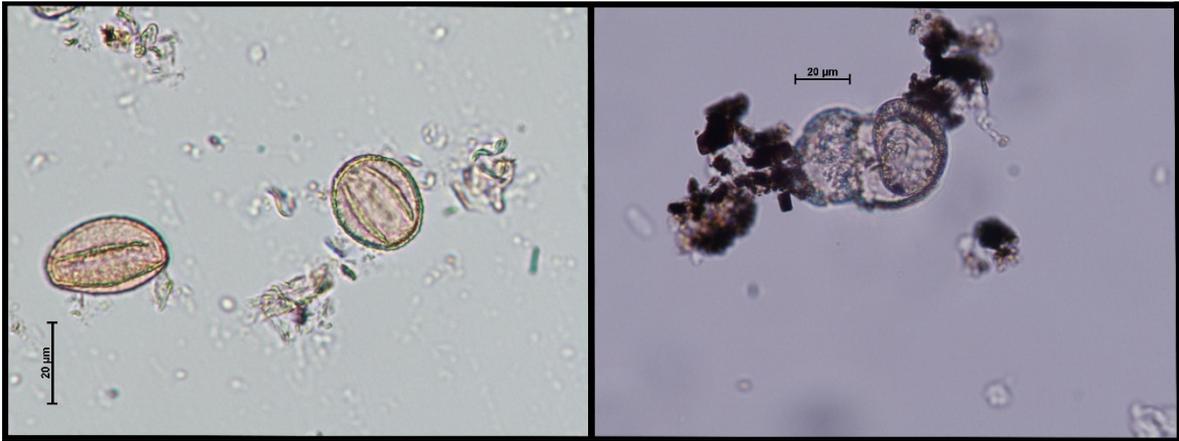


Figura 7.3.5: Imágenes de microscopio correspondiente a los taxa *Quercus* y *Pinus sylvestris*

En relación con las especies arbustivas el taxón principal lo compone el brezo (*Erica*) el cual no parece ver alterada su presencia en el ámbito de la turbera de manera significativa, si bien se puede apreciar un cierto repunte porcentual en el periodo señalado.

Entre las especies herbáceas el taxón predominante se corresponde, de nuevo, con las gramíneas (Poaceae) que, además, presentan un aumento sostenido en el porcentaje de polen en dicho periodo. Cabe destacar la aparición y auge del taxon de la comúnmente denominada madra (*Artemisia*) que se ve beneficiada de esta disminución de la humedad edáfica de esta fase concreta puesto que es una especie xerófila.

7.2.4: Fase 4: 250 225 cal BP

Esta última fase de apenas unas décadas de duración permite atisbar un claro cambio de tendencia del clima de la turbera. Se produce una drástica reducción de las temperaturas, que disminuyen de manera brusca en un intervalo de tiempo muy reducido. Por el contrario, las precipitaciones experimentan un proceso inverso, aumentando de manera significativa en el periodo señalado.

El impacto en la cobertura vegetal es difícil de estimar, debido fundamentalmente a la resolución del diagrama, así como al breve periodo temporal al que se hace referencia, sin embargo, se puede observar cierta incidencia en algunas especies vegetales.

En el caso de las especies arbóreas se observa un cierto repunte porcentual de la presencia del taxon del avellano (*Corylus*) así como del roble (*Quercus*).

Entre las especies de carácter arbustivo el taxón predominante se corresponde con el brezo (*Erica*) que, además, experimenta un considerable repunte en esta última fase temporal, lo mismo ocurre con el acebo (*Ilex aquifolium*).

En cuanto a las especies herbáceas el taxon de las gramíneas (Poaceae) sigue predominando en el ámbito de la turbera, observándose un incremento porcentual muy importante.

8. DISCUSIÓN

La PEH supuso un claro cambio de tendencia en las condiciones climáticas de amplias áreas del hemisferio norte, donde las características del clima se tornaron en general, notablemente más frías y húmedas (Williams *et al.*, 2017). Estas alteraciones del clima dejaron huella en registros de diversa índole: sedimentológicos, biológicos, geomorfológicos o antrópicos, tales como testimonios representados en cuadros, relatos escritos o cambios en los usos del suelo (Ilyashuk *et al.*, 2019).

8.1: FASE PREVIA A LA PEH (1200-700 cal BP)

A tenor de los datos obtenidos en la reconstrucción paleoclimática de temperatura llevada a cabo en la turbera de Zalama (Figura 7.1.1), se puede corroborar que esta primera fase, desde el punto de vista paleoclimático, se relaciona cronológicamente en el final del óptimo climático medieval, periodo climático previo a la PEH y moderadamente más cálido que se asemeja a las condiciones climáticas actuales. Si bien los registros cuantitativos son muy escasos, para contextualizar el preciso señalar que durante el óptimo climático medieval las temperaturas estivales en Inglaterra fueron de 0'7 °C -2 °C más elevadas que en la actualidad y de 1'4 °C en Europa central (Williams *et al.*, 2017).

Los datos obtenidos en la turbera de Zalama en dicho rango temporal (*ca.* 1200 – 700 cal BP) evidencian que, en términos generales las condiciones que imperan en el clima en este periodo son relativamente benignas. Las temperaturas son moderadamente cálidas en el ámbito del depósito, y, la misma dinámica sucede en la turbera de Arbarrain, siendo la

excepción Gesaleta donde este evento no se aprecia de manera concluyente, posiblemente por una cuestión de resolución temporal de las muestras.

Cabe destacar la excepción relativa al descenso puntual de las temperaturas acontecido *ca.* 950 cal BP, y que queda reflejado en los datos de Zalama de manera evidente, por su parte en Arbarrain se produce un descenso térmico *ca.* 880 cal BP. Dichas variaciones de las temperaturas son sustanciales y probablemente están asociadas al mínimo solar de Oort, ocurrido *ca.* 950 - 900 cal BP (Silverman *et al.*, 2021), lo que probablemente condujo a unas condiciones del clima algo más frías y húmedas.

En términos pluviométricos la distribución temporal de las precipitaciones, así como su cantidad es bastante variable en el contexto geográfico de las tres turberas. En esta primera fase, en Zalama se aprecia cierta variabilidad en el volumen de las precipitaciones con dos máximos *ca.* 950 cal BP y *ca.* 750 cal BP respectivamente y un mínimo muy evidente *ca.* 850 cal BP. Por su parte, en Arbarrain esta situación de variabilidad se asemeja en gran medida con lo señalado para Zalama, señalando posiblemente un patrón regional, si bien se produce un mínimo de precipitaciones muy marcado *ca.* 980 cal BP. Por el contrario, en Gesaleta no se produce esta dinámica, registrándose una regularidad de las precipitaciones sostenida en el tiempo.

Esta variabilidad en el volumen de las precipitaciones puede ser debida principalmente a factores físicos locales que lo condicionan tales como orientación, altitud (Zalama 1330 m s.n.m., Arbarrain 1004 m s.n.m., Gesaleta 900 m s.n.m.), o situación geográfica puesto que la existencia de accidentes geográficos muy locales puede hacer variar enormemente las precipitaciones medias anuales, esto explicaría la escasa coincidencia existente entre Zalama, Arbarrain y Gesaleta puesto que esta última no parece sufrir alteraciones temporales significativas en cuanto a temperaturas o precipitaciones se refiere.

La incidencia de las condiciones climáticas en este periodo temporal sobre la cobertura vegetal en el contexto geográfico de las ubicaciones seleccionada es variable. La vegetación del entorno de Zalama en estos momentos se caracteriza por la presencia de varias formaciones arbóreas de tipo caducifolio, destacando en mayor medida el avellano (*Corylus*) el roble común (*Quercus robur*) y el haya (*Fagus sylvatica*) los cuales poseen una buena representación, formando bosques caducifolios locales.

Las especies arbóreas ven reducida su presencia en el breve periodo frío antes mencionado, por lo que la vegetación no leñosa manifiesta un incremento cuando las condiciones climatológicas se tornan más adversas, ocupando el espacio dejado por el bosque (Figura 7.1.3). El avellano tiene un crecimiento óptimo cuando las temperaturas son benignas con un cierto grado de humedad ambiental. El roble por su parte tolera el frío moderado siempre y cuando no sea excesivo, las gramíneas (Poaceae) están presentes de manera notable, así como brezales y arbustos. Se puede considerar por tanto que el paisaje predominante en el entorno de la turbera de Zalama se conforma en estos momentos por masas forestales mixtas, brezales y praderas formadas por diversas especies de gramíneas.

Situación similar se presenta en los depósitos de Arbarrain y Gesaleta, puesto que la vegetación arbórea dominante se compone de especies caducifolias tales como avellano (*Corylus*), roble (*Quercus*), haya (*Fagus*), y, en el caso de Arbarrain, aliso (*Alnus*). La composición del cortejo arbóreo en los depósitos de Arbarrain y Gesaleta es similar, aunque con ciertos matices puesto que los taxa presentes en el diagrama palinológico difieren, pero, en términos generales el bosque caducifolio es mayoritario, junto con praderas de gramíneas y brezales.

En el contexto geográfico del norte peninsular se puede concluir que, aunque con ciertos matices en la composición de cortejo arbóreo en función de la ubicación, la representación de las especies arbóreas es mayoritaria puesto que es típica de ambientes templados y húmedos (Pérez Díaz, 2012), suponiendo unos porcentajes en torno al 60% en el conjunto de las tres turberas, esto evidencia la existencia de un paisaje dominado por masas forestales alternado con praderas de gramíneas y áreas arbustivas.

8.2: LA PEH (ca. 700-100 cal BP)

La PEH se caracterizó en Europa por unas temperaturas inferiores a las actuales, así como por una elevada variabilidad térmica y pluviométrica con un desarrollo no lineal, puesto que en el periodo que abarca esta etapa existen episodios de frío más intenso con mínimos muy marcados (Cortizo, 2016).

En nuestro caso, los resultados obtenidos en la reconstrucción paleoclimática realizada muestran cómo en este periodo temporal se comienzan a evidenciar signos de cambio en las condiciones climáticas en el área de la turbera de Zalama. Los resultados obtenidos en la reconstrucción paleoclimática permiten vislumbrar los primeros efectos en la dinámica de

las temperaturas medias anuales, así como en los registros pluviométricos, con un claro cambio de tendencia que se produce *ca.* 650 cal BP, que corrobora el inicio de la PEH.

Estas características de la PEH se evidencian de manera clara en Zalama apreciándose un descenso progresivo y sostenido de las temperaturas medias anuales hasta alcanzar un primer descenso acusado *ca.* 450 cal BP. Este hecho se puede asociar al conocido como Mínimo de Spörer (1420-1550) el cual fue un periodo de baja actividad solar, climáticamente en Europa occidental se tradujo en una serie de inviernos muy prolongados y extremadamente fríos (Camenisch *et al.*, 2016). Probablemente en el entorno del depósito de Zalama los inviernos fueron sustancialmente más fríos con olas de frío intensas, así como copiosas nevadas, puesto que las precipitaciones experimentan un notable repunte asociado a este mínimo solar. Todo ello quizá debido a su altitud (1330 m s.n.m.) y orientación, que favorecieron una mayor exposición a los fenómenos meteorológicos.

Las temperaturas significativamente más frías experimentan una relativa mejoría puntual para volver a decaer *ca.* 350 cal BP siendo este episodio el más frío, en este caso, asociado al conocido Mínimo de Maunder (*ca.* 1645-1715 cal AD) donde en Europa y por ende en la península ibérica se alcanzan las condiciones más frías de la PEH, este mínimo se caracterizó por temperaturas severamente frías, con unos valores aproximadamente de 0'6° a 1° más bajos que en la actualidad (Oliva *et al.*, 2018). En estos momentos las condiciones del clima imperantes presumiblemente implicaban un mayor número de días con precipitación en forma de nieve, así como una mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos relacionados con las bajas temperaturas, con una mayor frecuencia tanto de nevadas como de heladas.

En la fase final de la PEH en la turbera del Zalama se observan de manera clara en los resultados obtenidos (Figura 7.1.1), que las temperaturas se mantienen con unos valores más fríos a los presentes hasta prácticamente mediados del siglo XIX (100 cal BP) con unas condiciones que siguen siendo relativamente frías, los episodios de frío invernal presentaban una entidad y una frecuencia mayor a los presentes en la actualidad. (García Hernández *et al.*, 2018)

En el depósito de Arbarrain se aprecia un tímido descenso de los valores térmicos asociados al mínimo de Spörer que probablemente se tradujo en unas condiciones del clima notablemente más frías, sin embargo, los resultados obtenidos en la reconstrucción paleoclimática de este depósito presentan una resolución mucho menor y no se aprecian

oscilaciones relevantes en los valores relativos a temperatura o precipitación en el periodo que comprende la PEH aparte del ya citado Mínimo solar de Spörer, no pudiéndose determinar ninguna otra alteración de las temperaturas o precipitaciones más allá de tímidas oscilaciones muy leves en temperatura y precipitaciones.

En los resultados obtenidos en la reconstrucción paleoclimática de las temperaturas relativa al depósito de Gesaleta (Figura 7.3.1) no se aprecian cambios sustanciales asociados a los mínimos solares ya mencionados (Spörer y Maunder). De hecho, las temperaturas parecen seguir una dinámica ascendente, si bien se puede observar un claro cambio de tendencia muy marcado *ca.* 225 cal BP punto en el cual las temperaturas comienzan a manifestar un descenso muy acusado. Esto hecho puede estar asociado al conocido Mínimo de Dalton (1790-1830), el cual fue un periodo con reducida actividad solar que multitud de reconstrucciones paleoclimáticas han evidenciado un mínimo global de temperaturas (Wagner, 2005) si bien este mínimo solar estuvo acompañado de dos erupciones volcánicas muy significativas en diversas partes del planeta, la erupción de los volcanes Laki (1783) y Tambora (1815), esta última de una entidad considerable (Merodio, 2013).

En cuanto a las precipitaciones se aprecia en el depósito de Zalama (Figura 7.1.2) una notable variabilidad temporal durante la PEH. Esta dinámica en el volumen de las precipitaciones es una consecuencia ampliamente constatada de la PEH y los datos obtenidos así lo atestiguan. Las precipitaciones aumentan y disminuyen en clara sintonía con las temperaturas produciéndose en los mínimos solares antes mencionados (Spörer y Maunder) un repunte significativo de esta variable meteorológica coincidiendo con las fases más frías. En las turberas de Arbarrain (Figura 7.2.2) y Gesaleta (Figura 7.3.2) la resolución de los datos es menor, pero, se puede apreciar de manera evidente un repunte significativo de las precipitaciones *ca.* 500 cal BP en ambas turberas cuando las condiciones del clima se tornaron moderadamente más húmedas, probablemente asociado al Mínimo solar de Spörer. En el depósito de Gesaleta se aprecia un repunte notable de las precipitaciones *ca.* 225 cal BP coincidiendo con el Mínimo solar de Dalton. La variabilidad en la distribución espacial de las precipitaciones es evidente, puesto que no hay una coincidencia temporal entre los tres depósitos.

La incidencia de esta etapa en la vegetación es variable, en función del momento temporal y la ubicación. A tenor de los resultados expuestos en el diagrama palinológico (Figura 7.1.3) en las cercanías de la turbera del Zalama en los primeros momentos de la PEH la vegetación

arbórea se caracteriza por formaciones de bosque compuestas de avellano (*Corylus*), haya común (*Fagus sylvatica*), roble (*Quercus*) y pino (*Pinus*) los cuales son los taxa predominantes entre los árboles con una importante representación, mientras que, entre los arbustos el brezo (*Erica*) y (*Calluna*) son los taxones predominantes junto con las gramíneas (Poaceae) en el ámbito de las especies herbáceas .

Probablemente el dominio paisajístico en estos primeros compases de la PEH no difiere mucho del presente al final del óptimo climático medieval, donde las principales formaciones forestales del entorno estaban constituidas por un bosque caducifolio, en el cual los robles estarían acompañados de avellano, haya y pino.

Los cambios se manifiestan en la cobertura vegetal del entorno de Zalama coincidiendo, desde el punto de vista paleoclimático con el Mínimo solar de Spörer acaecido ca. 450 cal BP.

En este episodio las condiciones del clima se tornan más frías y húmedas apreciándose un claro repunte del taxon del pino (*Pinus* sp.) que presenta una mayor representación en detrimento del avellano (*Corylus*) y del haya (*Fagus*). La vegetación de porte arbustivo ve aumentada su presencia de forma notable, esto se evidencia en los taxones del brezo (*Erica*) y (*Calluna*), mientras que el cortejo herbáceo se compone de gramíneas, las cuales no se ven alteradas su presencia. Es probable que, en el entorno de la turbera, en estos momentos más fríos y húmedos el bosque caducifolio retrocediera hasta alturas más moderadas en busca de unas condiciones climatológicas más favorables, obteniendo mayor protagonismo el bosque de pinos alternado con formaciones de brezo y praderías.

En el depósito de Arbarrain (Figura 7.2.3) los taxones arbóreos con mayor representación en este episodio se corresponden con el aliso (*Alnus*), avellano (*Corylus*), haya (*Fagus sylvatica*), roble (*Quercus*) y, en menor medida, pino albar (*Pinus sylvestris*) y abedul (*Betula*). El cortejo arbustivo se compone principalmente del brezo (*Erica* sp.) mientras que las especies herbáceas están representadas mayoritariamente por gramíneas (Poaceae) así como por pastos húmedos de ciperáceas (Cyperaceae). A excepción de un leve descenso porcentual de los taxones relativos al aliso común (*Alnus*) y del haya (*Fagus sylvatica*) no se aprecian para este episodio alteraciones significativas de la cobertura vegetal en las inmediaciones de este depósito, este evento climático concreto o no queda recogido en la secuencia palinológica de este periodo. La observación del diagrama sugiere, por tanto, que

en estos momentos la cobertura vegetal se halla dominada por formaciones boscosas caducifolias con una representación aproximada del 75% alternado con praderas.

El diagrama palinológico de la turbera de Gesaleta (Figura 7.3.3) muestra como en estos momentos la vegetación en el entorno se caracteriza por poseer una representación mayoritaria del cortejo arbóreo, en torno al 70%. Entre los árboles los taxones más representativos se corresponden con el abedul (*Betula*), avellano (*Corylus*), haya (*Fagus*), roble (*Quercus*) y en menor medida pino albar (*Pinus sylvestris*). Entre los arbustos el taxa más predominante se corresponde con el del brezo (*Erica*) mientras que las herbáceas están monopolizadas por las gramíneas (Poaceae).

Es destacable el notable incremento del taxon del helecho (*Pteridium aquilinum*) en el entorno de la turbera de Gesaleta, coincidiendo cronológicamente con los inicios de la PEH, probablemente debido a las condiciones más húmedas y, por tanto, más favorables para el desarrollo de pteridófitos. En estos momentos, por tanto, el dominio paisajístico probablemente se compone de bosques caducifolios con una presencia de helechos en su sotobosque, así como praderas de pastos circundantes a estas masas forestales.

En las turberas de Arbarrain y Gesaleta los cambios en la vegetación relacionados con el Mínimo de Spörer no son muy significativos, y, no siguen la dinámica vegetal de Zalama, probablemente debido a la diferencia de altitud (1330 m s.n.m. Zalama) y (1000 m s.n.m. Arbarrain y Gesaleta) así como factores orográficos locales.

Tras el mínimo solar de Spörer (ca. 1420-1550) se produce un leve repunte de las temperaturas, esta leve mejoría es suficiente para provocar un ligero avance de las masas arbóreas de carácter caducifolio en el entorno del depósito de Zalama, por el contrario, en Arbarrain y Gesaleta no se aprecian cambios significativos en la cobertura vegetal. Esta situación cambia de nuevo ca. 350 cal BP ya que según los resultados obtenidos en la reconstrucción paleoclimática se produce un descenso muy acusado de los valores térmicos asociado esta vez al Mínimo solar de Maunder.

En el depósito de Zalama en estos momentos los taxones arbóreos más representativos no experimentan grandes cambios asociados al mínimo de Maunder (ca. 300 cal BP), si bien se puede apreciar un ligero retroceso del taxon del avellano (*Corylus*) debido probablemente al recrudescimiento de las condiciones climáticas, el cual manifiesta un descenso de sus valores, alcanzando el 10% del total, así como el del roble (*Quercus*) que obtiene una representación

del 15%. Entre los arbustos el brezo (*Erica*) sigue siendo el mejor representado. Las herbáceas manifiestan un ligerísimo incremento de sus valores, alcanzando el 20% aproximadamente siendo Poaceae el elemento mejor representado. En la turbera de Arbarrain no se aprecian alteraciones significativas de la cobertura vegetal asociadas a este evento climático, los taxones arbóreos, así como la vegetación de porte arbustivo y las herbáceas mantienen unos valores de representatividad constantes. La misma dinámica se sucede en la turbera de Gesaleta, donde no se muestran cambios aparentes en la cobertura vegetal que indiquen una correlación con evento climático aparente.

Dada la elevada variabilidad que caracterizó a la PEH es probable que el Mínimo de Maunder no se manifestase con toda su crudeza en los emplazamientos de las turberas, el paisaje vegetal se caracterizaba probablemente por bosques caducifolios conformados por olmos, pinos, avellanos, robles, hayas y abedules. Dichas masas forestales en momentos de mayor frío podrían alterar su composición, así como su presencia y descender en altura apreciándose en estos momentos un mayor protagonismo de los pastos de herbáceas, así como formaciones arbustivas ocupando el espacio dejado por el bosque.

Otros estudios llevados a cabo analizan la crudeza del evento climático relativo al Mínimo de Maunder y cómo este quedó registrado en documentos de carácter histórico. Se realiza un exhaustivo análisis del impacto del Mínimo de Maunder en Galicia a través de las procesiones de rogativas. En previsión de desastres, y, de acuerdo con la creencia de la época se llevaban a cabo las celebraciones de rogativas, con sus rituales litúrgicos. Se ha constatado que el número de rogativas aumentó de manera considerable en el Mínimo de Maunder a raíz de los eventos climáticos asociados (Cortizo, 2016).

La fase final de la PEH no parece tener una incidencia reseñable en la cobertura vegetal, en el ámbito de la turbera de Zalama los taxa arbóreos mejor representados no han variado su presencia de manera apreciable, lo mismo ocurre con el cortejo arbustivo y las herbáceas, y, la misma dinámica se observa en la secuencia relativa a la turbera de Arbarrain. Por su parte en la turbera de Gesaleta no se pueden extraer conclusiones relativas a este periodo final puesto que la secuencia se interrumpe *ca.* 220 cal BP.

El impacto de la PEH en las condiciones climatológicas y los fenómenos extremos asociados se evidencian en otros registros, un ejemplo reseñable fue la sucesión de avalanchas catastróficas ocurridas en el macizo asturiano en 1888 que quedaron registradas en las crónicas de la época, las cuales tuvieron un impacto socioeconómico muy destacado. La

inestabilidad de los patrones climáticos asociados a la PEH generaron una serie de eventos climáticos extremos que afectaron a las montañas de latitudes medias como el macizo asturiano, siendo estas avalanchas un evento remarcable. Estas avalanchas se sucedieron debido a una conjunción de factores muy concretos tales como precipitaciones orográficas y la interacción de masas de aire frías y húmedas (García Hernández *et al.*, 2018)

8.3: FASE POSTERIOR A LA PEH (100 cal BP- ACTUALIDAD)

Los datos obtenidos en la reconstrucción paleoclimática llevada a cabo en la turbera de Zalama (Figuras 7.1.1 y 7.1.2), evidencian de manera clara un cambio sustancial en la dinámica de las temperaturas, con un aumento sostenido y progresivo de este valor a partir de mediados-finales del siglo XIX (*ca.* 75 cal BP). Este cambio de tendencia se asocia indudablemente al progresivo aumento de las temperaturas globales que empezó a manifestarse a raíz de la revolución industrial y que está provocando un cambio climático ligado a la acción antrópica, y, motivado por la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero. (Useros Fernández, 2012). Por el contrario, en el depósito de Arbarrain (Figuras 7.2.1 y 7.2.2) no se aprecian cambios palpables en esta variable, y, la reconstrucción paleoclimática llevada a cabo para el depósito de Gesaleta (Figuras 7.3.1 y 7.3.2) no ha permitido obtener resultados más allá de 225 cal BP.

Las precipitaciones en Zalama (Figura 7.1.2) manifiestan una tendencia descendente, ligado a cambios en los patrones atmosféricos derivados del calentamiento global. Se ha constatado en el SW peninsular un descenso en la frecuencia de años húmedos, así como un incremento en el número de años hidrológicamente secos (Sousa *et al.*, 2006) por lo que es probable que esta tendencia se extrapole a otras áreas peninsulares. Esta misma situación se aprecia en el depósito de Arbarrain (Figura 7.2.2), con una clara disminución de los valores de las precipitaciones a partir de mediados-finales del siglo XIX, por lo que se puede concluir que a partir de entonces las condiciones del clima se han vuelto sensiblemente más secas en el contexto del NW peninsular.

En lo que se refiere a la vegetación, en estos momentos en el entorno de la turbera del Zalama destaca el breve repunte del taxa del roble (*Quercus*) así como del haya (*Fagus*), los demás taxa arbóreos mantienen unos porcentajes de representación similares sin experimentar cambios reseñables. El leve incremento del roble y del haya probablemente indique una

mayor presencia de los elementos caducifolios indicando que las condiciones climáticas se han tornado más templadas, por tanto, es probable que el bosque haya recuperado mayor protagonismo en altitudes medias-altas. Por su parte, en la turbera de Arbarrain no se aprecian cambios dignos de mención en lo que a cubierta vegetal se refiere para este periodo posterior a la PEH, los taxa arbóreos mantienen inalterada su presencia con una presencia mayoritaria de formaciones forestales, las cuales representan el 75% del total.

9. CONCLUSIONES

- Los estudios paleobotánicos son análisis clave para determinar las variaciones climáticas del pasado.
- El análisis paleoclimático usando herramientas de software sobre datos palinológicos ha permitido realizar una reconstrucción paleoclimática de los últimos 1200 años para el área geográfica del Cantábrico Oriental.
- Este estudio revela que en la fase previa a la PEH el clima se caracterizaba por ser moderadamente cálido y húmedo, con unos valores muy similares a los actuales.
- En la PEH se observa un descenso acusado de las temperaturas con periodos de remisión, y, otros de frío intenso asociados a mínimos solares. La variabilidad climática fue muy acusada y la incidencia de la PEH en el territorio fue variable en intensidad.
- En la fase posterior se aprecia un aumento progresivo y sostenido de las temperaturas asociado a causas antrópicas, con una disminución apreciable de las precipitaciones.
- La diferencia altitudinal entre las tres turberas se antoja un factor diferencial en el impacto de la PEH, puesto que una variación de cientos de metros supone una mayor o menor crudeza de las condiciones climatológicas, así como el impacto que ello supone en la vegetación.
- Futuros estudios podrán confirmar las características paleoclimáticas que se han documentado en este estudio.

10. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

Bibliografía

- Bard, E.; Raisbeck, G.; Yiou, F.; Jouzel, J. (2000). Solar irradiance during the last 1200 years based on cosmogenic nuclides. *Tellus B Chemical and Physical Meteorology*, 52 (3), pp. 985-992. doi: <https://doi.org/10.3402/tellusb.v52i3.17080>.
- Almendros Martin, G. (1981). Composición y propiedades de la materia orgánica de las principales turberas españolas. Madrid: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal. Tesina de doctorado.
- Camenisch, C.; Keller, K.M.; Salvisberg, M.; Aman, B.; Bauch, M.; Blumer, S.; Brázdi, R.; Brönnimann, S.; Büntgen, U.; M. S. Campbell, B.; Fernández Donado, L.; Fleitmann, D.; Glaser, R.; González Rouco, F.; Grosjean, M.; Hoffmann, R.C.; Huhtama, H.; Joos, F.; Kiss, A.; Kotyza, O.; Lehner, F.; Luterbacher, J.; Maughan, N.; Neukom, R.; Novy, T.; Pribyl, K.; Raible, C.C.; Riemann, D.; Schuh, M.; Slavin, P.; Werner, J.P.; Wetter, O. (2016). The early Spörer Minimum: a period of extraordinary climate and socio-economic changes in Western and Central Europe. *Clim. past discuss.* doi:10.5194/cp-2016-7, 2016.
- Chico, C.; Clutterbuck, B.; Clough, J.; Lindsay, R.; Midgley, N.G.; Labadz, J.C. (2020). Geo-hydromorphological assessment of Europe's southernmost blanket bogs. *Earth Surf. Process. Landforms* 45: 2747–2760. doi: 10.1002/esp.4927
- Desprat, S.; Sanchez Goñi, M.F.; Loutre, M.F. (2003). Revealing climatic variability of the last three millennia in northwestern Iberia using pollen influx data. *Earth and Planetary Science Letters* 213: 63-78. doi:10.1016/S0012-821X(03)00292-9
- Fernández Cortizo, C. (2016). La Pequeña Edad de Hielo en Galicia: Estado de la cuestión y estudio histórico. *Obradoiro de historia moderna.*, (25): 9-39. doi: 10.15304/ohm.25.3710.
- García, Y.; Garmendia, J.; Mitxelena, A. (2020). FLORA ETA HABITAT PIRINIAR-KANTABRIARRAK ALDAKETA KLIMATIKOAREN ERRONKAREN AURREAN. Donostia/San Sebastián: Nature Series 4. Aranzadi Zientzia Elkarte-Aranzadi Society of Science, pp: 106-109

- García Hernández, C.; Ruiz Fernández, J.; Sánchez Posada, C.; Pereira, S.; Oliva, M. (2018). An extreme event between the Little Ice Age and the 20th century: The snow avalanche cycle of 1888 in the asturian massif (Northern Spain). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 44 (1): 187-212. doi: 10.18172/cig.3386.
- García Ruiz, J.M.; López Moreno, J.I.; Lasanta, T.; Vicente-Serrano, S.M.; González Sampériz, P.; Valero Garcés, B.L.; SanJuan, Y.; Beguería, S.; Nadal Romero, E.; Lana Renault, N.; Gómez Villar, A. (2015). Los efectos geocologicos del cambio global en el pirineo central español: Una revisión a distintas escalas espaciales y temporales. *Pirineos, Revista de Ecología de Montaña*. Vol. 170. Doi: 10.3989/Pirineos.2015.170005.
- García Ruiz, J.M.; Palacios, D.; De Andrés, N.; Valero Garcés, B.L.; López Moreno J.I.; SanJuan, Y. (2014). Holocene and ‘Little Ice Age’ glacial activity in the Marboré Cirque, Monte Perdido Massif, spanish central Pyrenees. *El Holoceno*, 24 (11): 1439-1452. doi: 10.1177 / 0959683614544053.
- Garza Merodio, G.G. (2013). Caracterización de la Pequeña Edad de Hielo en el México central a través de fuentes documentales. *Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, (85): 82-94. doi: 10.14350/rig.41883.
- González Trueba J.J.; Martín Moreno, R.; Martínez de Pisón, R.; Serrano, E. (2008). ‘Glaciación’ Pequeña Edad de Hielo y glaciares actuales en la península ibérica. *El Holoceno*, 18 (4), pp. 551–569.
- Ilyashuk, E.A.; Heiri, O.; Ilyashuk, B.P.; Koinig K.A.; Psenner, R. (2019). The Little Ice Age signatura in a 700-year high-resolution chironomid record of summer temperaturas in the Central Eastern Alps. *Climate Dynamics*, 52: 6953-6967. doi: 10.1007/s00382-018-4555-y.
- Heras Pérez, P. (2002). determinación de los valores ambientales de la turbera del zalama (carranza; bizkaia) y propuestas de actuación para su conservación. Vitoria: Dirección de Aguas del Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. Disponible, en Febrero de 2022, en: https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/turbera_zalama/eu_13687/adjuntos/turbera_zalama.pdf

- Heras Pérez, P.; Infante Sanchez, M.; Biurrun Galarraga, I.; Campos Prieto, J.A.; Gartzandia Berástegui, A. (2011). Tipología, vegetación y estado de conservación de los hábitats hidroturbosos del noroeste de Navarra. *Acta Botánica Barcinonensia*, (53): pp 27-45.
- Jacques, M; Montes, C. (2007). Reconstrucciones paleoclimáticas. En: Programa de Magíster en Meteorología y Climatología. Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas: Universidad de Chile.
- Jalut, G.; Dedoubat, J.J.; Fontugne, M.; Otto, T. (2009). Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International*, (200): 4-18.
- Maan, M.E. (2002). The earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change. En: *Encyclopedia of Global Environmental Change*, pp 514-516.
- Manrique, E.; Fernández Cancio, A. (2000). EXTREME CLIMATIC EVENTS IN DENDROCLIMATIC RECONSTRUCTIONS FROM SPAIN. *Climatic Change*, 44: 123–138.
- Mayewski, P.A.; Rohling, E.E.; Stager, J.C.; Karlén, W.; Maasch, K.A.; Meeker, L.D.; Meyerson, E.A.; Gasse, F.; Van Kreveld, S.; Holmgren, K.; Lee Thorp, J.; Rosqvist, G.; Rack, F.; Staubwasser, M.; Schneider, R.R.; Steig, E.J. (2004). Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62: 243-255. doi: 10.1016/j.yqres.2004.07.001
- Morcote Ríos, G.; Aceituno, F.J.; Iriarte, J.; Robinson, M.; Chaparro Cárdenas, J.L. (2021). Colonisation and early peopling of the Colombian Amazon during the Late Pleistocene and the Early Holocene: New evidence from La Serranía La Lindosa. *Quaternary International* (578): 5-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.026>
- Oliva, M. (2018). La pequeña edad del hielo, el trasfondo climático del calentamiento actual en Europa. *Cuadernos de investigación geográfica*, 44 (1), pp. 7-13. doi: <http://doi.org/10.18172/cig.3402>
- Oliva, M.; Ruiz Fernández, J.; Barriendos, M.; Benito, G.; Cuadrat, J.M.; Dominguez Castro, F.; García Ruiz, J.M.; Giralt, S.; Gómez Ortiz, A.; Hernández, A.; López Costas, O.; López Moreno, J.I.; López Sáez, J.A.; Martínez Cortizas, A.; Moreno, A.; Prohom.

- M.; Saz, M.A.; Serrano, E.; Tejedor, E.; Trigo, R.; Valero Garcés, B.; Vicente Serrano, S.M. (2018). La Pequeña Edad del Hielo en la Sierra Ibérica. *Elsevier Earth-Science Reviews*, (177): 175-208. doi: 10.1016/j.earscirev.2017.11.010.
- Paasche, Ø. y Bakke, J. (2010). Defining the Little Ice Age, *Clim. Past Discuss.*, 6, 2159–2175. Doi: 10.5194/cpd-6-2159-2010.
- Pérez Díaz, S. (2012). El paisaje vegetal durante la prehistoria reciente en la vertiente mediterránea de Euskal Herria. Universidad del País Vasco. Memoria de Tesis Doctoral.
- Pérez Díaz, S.; López Sáez, J.A.; Núñez de la fuente, S.; Ruiz Alonso, M. (2018). Early farmers, megalithic builders and the shaping of the cultural landscapes during the Holocene in Northern Iberian mountains: A palaeoenvironmental perspective. *Journal of Archaeological Science: Reports.*, 18: 463–474. doi:10.1016/j.jasrep.2018.01.043
- Pérez Díaz, S.; López Sáez, J.A.; Pontevedra Pombal, X.; Souto Souto, M.; Galop, D. (2016). 8000 years of vegetation history in the northern Iberian Peninsula inferred from the palaeoenvironmental study of the Zalama ombrotrophic bog (Basque-Cantabrian Mountains, Spain). *Boreas*, 45: 658-672. doi: 10.1111/bor.12182.
- Pérez Obiol, R.; Jalut, G.; Julià, R.; Pèlachs, A.; Iriarte, M.J.; Otto, T.; Hernández Belouqui, B. (2011). Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene*, 21 (1): pp. 75-93. doi: 10.1177/0959683610384161
- Quinzo Ortega L.M. (2011). La edad del Bronce en La Mancha Occidental: Reconstrucción paleoclimática usando informadores polínicos. Granada: Universidad de Granada, Dpto, de ciencias. Trabajo de fin de máster.
- Ruiz Alonso, M.; Pérez Díaz, S.; López Sáez, J.A. (2018). From glacial refugia to the current landscape configuration: permanence, expansion and forest management of *Fagus sylvatica* L. in the Western Pyrenean Region (Northern Iberian Peninsula). *Vegetation History and Archaeobotany*. 28(5), 481–496. doi: <https://doi.org/10.1007/s00334-018-0707-6>
- Sánchez Morales, M.; Pèlachs, A.; García Codrón, J.C.; Carracedo, V.; Pérez Obiol, R. (2022). Landscape dynamics and fire regime since 17,550 cal yr BP in the Cantabrian

- Region (La Molina peat bog, Puente Viesgo, Spain). *Quaternary Science Reviews*, 278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107373>
- Silverman, S.M.; Hayakawa, H. (2021). The Dalton Minimum and John's Dalton Auroral Observations. *J. Space Weather Space Clim*, 11 (17). doi: 10.1051/swsc/2020082.
- Sousa Martín, A. (2009). Evolución del clima de la Tierra. *Historia del clima desde el año 1000*. Universidad Internacional de Andalucía, pp. 20-32. Disponible, en febrero de 2022, en: https://www.researchgate.net/publication/266402387_Evolucion_del_clima_de_la_Tierra_Historia_del_clima_desde_el_año_1000
- Uriarte Cantolla, A. (2004) *Historia del clima de la Tierra*. Gobierno Vasco. Departamento de Transportes y Obras Públicas. Dirección de Meteorología y Climatología, VitoriaGasteiz, 306 pp.
- Useros Fernández, J.L. (2013). El cambio climático: Sus causas y efectos medioambientales. *Valladolid: Real Acad Med Cir Vall (50): 71-98*. Disponible, en febrero de 2022, en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817473>
- Wagner, S.; Zorita, E. (2005). The influence of volcanic, solar and CO₂ forcing on the temperatures in the Dalton Minimum (1790-1830): A model study. *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-005-0029-0.
- Williams, L.L.; Spencer Larsen, C. (2017). Health and the Little Ice Age in Southeastern Germany and Alpine Austria: Synergies between Stress, Nutritional Deficiencies, and Disease. *Bioarchaeology International*, 1 (3-4): pp, 148-170. doi: 10.5744/bi.2017.0012.
- Viñas Rubio, J.M. (2012). El clima de la tierra a lo largo de la historia. En: IX Seminario Historia y Clima: Clima, Naturaleza, riesgo y desastre. Contribuciones recientes y propuestas de estudio para la España de los siglos XVI al XIX. Alicante del 7 al 9 de mayo de 2012. Alicante: Universidad de Alicante, pp. 225-240.
- Zamora Allendes, A.F. (2013). Primera reconstrucción paleoclimática cuantitativa: Del polen de madriguera al clima del pasado en un transecto altitudinal del altiplano de Chile, pozo Almonte-Salar del Huasco. Región de Tarapacá. Santiago de Chile:

Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Trabajo de fin de grado.

Zharkova, V. (2020). Modern Grand Solar Minimum Will lead to terrestrial cooling. *Temperature*, 7 (3): 217-222. doi: 10.1080/23328940.2020.1796243.

Zubelzu Mínguez, S; Allende Álvarez, F. (2015). El concepto de paisaje y sus elementos constituyentes: requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. *Cuadernos de Geografía; Revista colombiana de geografía*, pp. 29-42.

Fuentes

CEP (2000). Convenio Europeo del Paisaje. Consejo de Europa, Florencia, 20 de octubre de 2000. Disponible en febrero de 2022, en: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/planes-y-estrategias/desarrollo-territorial/090471228005d489_tcm30-421583.pdf

CLIVAR (2010). Clima en España: Pasado, presente y futuro. Informe de Evaluación del Cambio Climático Regional. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 83 pp. Disponible, en febrero de 2022, en: <https://digital.csic.es/handle/10261/23600>

Euskalmet Agencia vasca de meteorología [en línea]. (2022). Euskalmet | Euskal Meteorologia Agentzia. [Consultado el 13 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.euskalmet.euskadi.eus/observacion/datos-de-estaciones/>

PH (2021). Plan Hidrológico (Parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Confederación Hidrográfica del Cantábrico. [Consultado el 13 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.chcantabrico.es/documents/20143/56286/memoria.pdf/59968dd0-44ee-e583-bf5a-e0e08439b7d8>

SAIH Ebro. Datos: Estaciones meteorológicas [en línea]. (2022). [Consultado el 13 de febrero de 2022]. Disponible en: <http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/datos/mapas/tipoestacion:EM/localizar:EM25>