



Cambios ambientales registrados en la Laguna de Ocelo (Macizo de Pena Trevinca, Galicia, NO de la Península Ibérica) en los últimos 2900 años utilizando análisis polínico de sedimentos

Cambios ambientais rexistrados na Lagoa de Ocelo (Macizo de Pena Trevinca, Galicia, NO da Península Ibérica) nos últimos 2900 anos utilizando análise polínica de sedimentos

Environmental changes recorded in the Ocelo pond (Macizo de Pena Trevinca, Galicia, NW of the Iberian Peninsula) in the last 2900 years using sediment pollen analysis



Rubén Pardiñas González

Junio de 2023



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Grupo de Investigación en Cambio Ambiental de la Universidade da Coruña (GRICA-UDC)

Cambios ambientales registrados en la Laguna de Ocelo (Macizo de Trevinca, Galicia, NO de la Península Ibérica) en los últimos 2900 años utilizando análisis polínico de sedimentos

Cambios ambientais rexistrados na Lagoa de Ocelo (Macizo de Pena Trevinca, Galicia, NO da Península Ibérica) nos últimos 2900 anos utilizando análise polínica de sedimentos

Environmental changes recorded in the Ocelo pond (Macizo de Pena Trevinca, Galicia, NW of the Iberian Peninsula) in the last 2900 years using sediment pollen analysis

Rubén Pardiñas González

El Dr. Roberto Bao Casal y la Dra. Luisa Santos Fidalgo

Informan:

Que el presente Trabajo de Fin de Máster presentado por Rubén Pardiñas González, actual alumno del *Máster en Biodiversidad Terrestre: Caracterización, Conservación y Gestión*, ha sido realizado bajo nuestra dirección y, considerándolo finalizado, damos el visto bueno para su presentación ante el Tribunal Calificador.

A Coruña, a 20 de junio de 2023

Agradecimientos

En la realización de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) se han integrado datos generados por otros investigadores involucrados en el proyecto *Impactos Climáticos de la Era Común sobre los Ecosistemas Acuáticos del NW de España-IMPACOM*, del Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2019-107424RB-I00). Este TFM es una contribución a dicho proyecto.

Mis mejores agradecimientos hacia mis tutores, el Dr. Roberto Bao Casal, coordinador del Grupo de Investigación en Cambio Ambiental de la Universidade da Coruña, y la Dra. Luisa Santos Fidalgo, investigadora del Grupo de Investigación en Cambio Ambiental de la Universidade da Coruña, por su atención, apoyo y paciencia durante los meses que llevó la realización de este TFM. También le querría dedicar mi agradecimiento a Uxía Fernández Pérez, tecnóloga del Centro Interdisciplinar de Química e Bioloxía (CICA) que me enseñó a montar las muestras analizadas para la elaboración de este TFM, y a Isaac Guillermo Darriba López, el bibliotecario de la Facultad de Ciencias que me ayudó a revisar la bibliografía.

El autor ha realizado el análisis polínico del registro estudiado en esta laguna. Asimismo, ha integrado los datos así obtenidos con aquellos facilitados por los colaboradores del proyecto IMPACOM (datos geocronológicos, sedimentológicos y geoquímicos) para la interpretación paleoecológica final.

LISTA DE ABREVIATURAS

<u>Abreviatura</u>	<u>Significado</u>
AD	Año del Señor (<i>Anno Domini</i>)
AP	Polen arbóreo (<i>Arboreal Pollen</i>)
BC	Antes de Cristo (<i>Before Christ</i>)
BCE	Antes de la Era Común (<i>Before Common Era</i>)
BP	Antes del presente (<i>Before Present</i> ; presente=1950 CE)
CE	Era Común (<i>Common Era</i> , equivalente seglar a <i>Anno Domini</i> o “Año del Señor”, AD)
CP	Concentración Polínica
DA	Alta Edad Media o Edad Oscura (<i>Dark Ages</i> , 500 CE-900 CE)
EA	Oscilación del Atlántico Oriental (<i>East Atlantic pattern</i>)
GRICA	Grupo de Investigación en Cambio Ambiental
IP	Periodo Industrial (<i>Industrial Period</i> , 1850 CE-Actualidad)
LIA	Pequeña Edad del Hielo (<i>Little Ice Age</i> , 1300 CE-1850 CE)
Ma	Millones de años (<i>Mega anna</i>)
MCA	Anomalía Climática Medieval (<i>Medieval Climate Anomaly</i> , 900 CE-1300 CE)
NAO	Oscilación del Atlántico Norte (<i>North Atlantic Oscillation</i>)
NAP	Polen no arbóreo (<i>Non Arboreal Pollen</i>)
RWP	Periodo Cálido Romano (<i>Roman Warm Period</i> , 250 BCE-500 CE)
SA	Periodo Subatlántico (<i>Subatlantic Age</i> , 975 BCE-250 BCE)
SCAND	Oscilación Escandinava (<i>Scandinavian pattern</i>)
TFM	Trabajo de Fin de Máster
UDC	Universidade da Coruña

Índice

1. Resumen/Resumo/Abstract	1
2. Introducción.....	3
2.1. Variaciones climáticas en el Holoceno tardío	3
2.2. Registro sedimentario de las variaciones climáticas	4
2.3. Objetivos del trabajo.....	5
3. Zona de estudio.....	5
4. Material y métodos	8
4.1. Obtención de testigos y litología	8
4.2. Cronología	9
4.3. Análisis polínico	9
4.3.1. Muestras preparadas en el laboratorio	9
4.3.2. Estudio de los tipos polínicos de la flora gallega	9
4.3.3. Montaje de las muestras en el laboratorio	10
4.3.4. Recuento de las muestras esporopolínicas	10
5. Resultados	11
5.1. Marco cronológico y sedimentológico	11
5.2. Descripción de las muestras polínicas	12
5.3. Zonación polínica	18
6. Discusión	20
7. Conclusiones	27
8. Bibliografía	28
ANEXO	

1. Resumen/Resumo/Abstract

Resumen

Este trabajo realiza una reconstrucción preliminar a baja resolución temporal de los cambios ambientales en el Macizo de Pena Trevinca (NO de la Península Ibérica) en los últimos 2900 años basada en el análisis polínico de un testigo extraído de la Laguna de Ocelo. El registro muestra la dominancia del polen arbóreo (principalmente *Betula*) durante los períodos climáticos de la Alta Edad Media y la Anomalía Climática Medieval, mientras los taxones no arbóreos (fundamentalmente Poaceae) fueron más típicos del Subatlántico, el Período Cálido Romano, la Pequeña Edad del Hielo y el Período Industrial. Mientras el Subatlántico y la Pequeña Edad del Hielo reflejan el predominio de las condiciones de paisaje abierto de los períodos fríos, el registro restante muestra diferencias notables con la variabilidad climática natural conocida para el Holoceno tardío en la región. Estas se pueden atribuir a las transformaciones humanas inferidas a lo largo de todo el registro, pero que afectaron, especialmente, al Período Cálido Romano, la Anomalía Climática Medieval y Período Industrial. Los datos sugieren la hipótesis de que el abandono de las tierras originado durante la Alta Edad Media pudo haber durado hasta bien entrada la Anomalía Climática Medieval en este lugar. Los resultados indican que el cambio a las condiciones actuales de paisaje abierto se originó durante la Pequeña Edad del Hielo y se debió probablemente al efecto sinérgico de las condiciones frías y la intervención humana sobre el medio.

Resumo

Este traballo realiza unha reconstrución preliminar a baixa resolución temporal dos cambios ambientais no Macizo de Pena Trevinca (NO da Península Ibérica) nos últimos 2900 anos baseada na análise polínica dun testigo extraído da Lagoa de Ocelo. O rexistro amosa a dominancia do pole arbóreo (principalmente *Betula*) durante os períodos climáticos da Alta Idade Media e a Anomalía Climática Medieval, mentres os taxóns non arbóreos (fundamentalmente Poaceae) foron máis típicos do Subatlántico, o Período Cálido Romano, a Pequena Idade do Xeo e o Período Industrial. Mentres o Subatlántico e a Pequena Idade do Xeo reflicten o predominio das condicións de paisaxe aberta dos períodos fríos, o rexistro restante amosa diferenzas salientables coa variabilidade climática natural coñecida para o Holoceno tardío na rexión. Estas pódense atribuír ás transformacións humanas inferidas ao longo de todo o rexistro, pero que afectaron, especialmente, ao Período Cálido Romano, a Anomalía Climática Medieval e Período Industrial. Os datos suxiren a hipótese de que o

abandono das terras orixinado durante a Alta Idade Media puido durar até ben entrada a Anomalía Climática Medieval neste lugar. Os resultados indican que o cambio ás condicións actuais de paisaxe aberta orixinouse durante a Pequena Idade do Xeo e debeuse probablemente ao efecto sinérxico das condicións frías e a intervención humana sobre o medio.

Abstract

This work makes a preliminary low temporal resolution reconstruction of the paleoenvironmental changes occurring in the Macizo de Pena Trevinca (NW Iberian Peninsula) in the last 2900 yr based on pollen analysis of a core retrieved from the Ocelo pond. The record shows the dominance of arboreal pollen taxa (mainly *Betula*) during the Dark Ages, and the Medieval Climate Anomaly climate periods, whereas non-arboreal taxa (mainly Poaceae) were more typical of the Subatlantic, Roman Warm Period, the Little Ice Age, and the Industrial Period. Whereas the Subatlantic and the Little Ice Age reflect the expected prevalence of open landscape conditions characteristic of cold periods, the rest of the record shows remarkable discrepancies with the known natural climate variability of the late Holocene in the region. These can be attributed to man-induced transformations, inferred from the entire record, but which most notably affected the Roman Warm Period, Medieval Climate Anomaly, and the Industrial Period. The data however raises the hypothesis that land use abandonment originated during the Dark Ages could have lasted well into the Medieval Climate Anomaly at this location. The results indicate that the shift to the present-day open landscape originated during the Little Ice Age, and was very probably due to the synergetic effect of cold conditions and human intervention in the environment.

2. Introducción

2.1. Variaciones climáticas en el Holoceno tardío

El Holoceno es la última época del periodo Cuaternario (últimos 2,6 millones de años, Ma) y comprende los últimos 11700 años (Walker et al., 2019). Al ser comparada con el último periodo glacial, se caracteriza por un clima húmedo y templado (Rull, 2020). Otra característica del Holoceno es que tradicionalmente se le consideraba como un periodo climático relativamente estable si se compara con las transiciones glaciales e interglaciales del Cuaternario (Roberts, 2014). No obstante, varios estudios han demostrado que el Holoceno muestra una alta variabilidad climática (Mayewski et al., 2004, Cacho et al., 2010).

El conocimiento de las oscilaciones climáticas de largo periodo es objeto de estudio de la Paleoclimatología (Bradley, 2014), disciplina en la que la investigación del relleno sedimentario de los lagos de alta montaña juega un importante papel. Los lagos de alta montaña son importantes para los estudios paleoclimáticos porque: a) aportan registros estratigráficos largos y continuos que son un repositorio natural de información del medio ambiente (Catalán et al., 2013a), b) son muy sensibles a los cambios que se producen en su entorno (Catalán et al., 2006) y c) se encuentran en áreas remotas con escasa interferencia antrópica (Catalán et al., 2013b).

Los cambios climáticos producidos en los últimos 2000 años (la Era Común, *Common Era* o CE) delimitan una serie de fases climáticas sucedidas en la Península Ibérica: el Periodo Cálido Romano (*Roman Warm Period*, RWP, que comprende desde el 250 antes de la Era Común, o BCE, al 500 CE y cuyo periodo precedente es el Subatlántico, que va desde el 975 al 250 BCE), la Alta Edad Media o Edad Oscura (*Dark Ages*, DA, que comprende el periodo que va desde el 500 al 900 CE), la Anomalía Climática Medieval (*Medieval Climate Anomaly*, MCA, que va del 900 al 1300 CE), la Pequeña Edad del Hielo (*Little Ice Age*, LIA, comprendida entre el 1300 y 1850 CE) y el Periodo Industrial (*Industrial Period*, IP, que abarca desde el 1850 CE hasta la actualidad) (Giralt et al., 2017). Para el caso concreto de los últimos 2000 años, las condiciones climáticas que se produjeron en la Península Ibérica serían la consecuencia de las interacciones de los principales modos climáticos que la afectan (la Oscilación del Atlántico Norte o NAO, la oscilación del Atlántico Oriental o EA y la oscilación Escandinava o SCAND) y de fluctuaciones de la insolación total de invierno y verano, a corto y largo plazo (Abrantes et al., 2017).

2.2. Registro sedimentario de las variaciones climáticas

Conocer las principales características de los cambios climáticos de corto plazo ocurridos en el Holoceno es importante porque se pueden emplear como análogos de todos los escenarios posibles que sean producto del actual Calentamiento Global (IPCC, 2021). Para este conocimiento, los investigadores recurren al estudio de fuentes diversas, como son los archivos documentales históricos, anillos de crecimiento de los árboles, corales o testigos de hielo, suelos y sedimentos, tanto marinos como lacustres (Bradley, 2014).

De estos últimos se ocupa la Paleolimnología, que es la ciencia que estudia los sedimentos de los lagos como archivos de su evolución (Cohen, 2003). Los lagos son un repositorio natural de información del medio ambiente porque los materiales que se depositan en ellos proceden de diversas fuentes: externas, como la atmósfera y la escorrentía procedente de la cuenca, e internas, como los procesos biogénicos y diagenéticos que ocurren en el mismo lago (Wetzel, 2001). Además, hay que añadir que, generalmente, se encuentran en áreas remotas poco humanizadas, lo que hace que sus sedimentos registren una señal climática menos interferida por los procesos antrópicos (Moser et al., 2019).

En los sedimentos lacustres se pueden encontrar numerosos indicadores o *proxies* capaces de revelar las condiciones ecológicas imperantes en el pasado, entre los que se encuentran los granos de polen y las esporas. Los granos de polen son estructuras que contienen los gametos masculinos necesarios para la fecundación de las plantas con semillas (angiospermas y gimnospermas) y que son producidos en las anteras de las flores, mientras que las esporas son producidas por pteridófitas, briófitas, algas y hongos en esporangios (Mander y Punyasena, 2018).

La Palinología, más concretamente la Paleopalinología, se encarga de estudiar los granos de polen y las esporas presentes en el sedimento (Moore et al., 1991), además de ser una herramienta importante para poder hacer reconstrucciones paleoambientales de los lagos y de su entorno, a lo largo del tiempo. Las especies vegetales, en diversas circunstancias climáticas, mantienen óptimos ambientales (Dupré, 1992) y/o responden a diversas intervenciones en el paisaje por parte de los seres humanos. En consecuencia, con la identificación y recuento de los granos de polen presentes en un sedimento lacustre, se puede reconstruir la vegetación que hubo en el entorno durante el pasado y analizar las causas de los posibles cambios en el paisaje (Mander y Punyasena, 2018). Los principios del análisis polínico de sedimentos se fundamentan en: a) la especificidad de los granos de polen: cada

taxón posee un grano de polen distinto que permite la identificación de la planta que lo produce; b) el alto grado de conservación de los granos de polen en los sedimentos. Cada grano de polen presenta dos capas: la intina o capa interior y la exina o capa exterior. Esta última posee la esporopolenina, un resistente polímero que es el único elemento de los granos de polen que se conserva durante el proceso de fosilización y que presenta todos los caracteres morfológicos que ayudan en la identificación del grano de polen (Moore y Webb, 1978) y c) la representatividad de la lluvia polínica: la lluvia polínica que producen las plantas del entorno, y que queda enterrada en el sedimento, indica qué taxones de plantas han existido a lo largo del tiempo. Hay que tener en cuenta que los granos de polen tienen un tamaño pequeño, lo que les permite ser transportados por el viento o por los insectos a grandes distancias (Mander y Punyasena, 2018) y que la cantidad de polen que genera una planta suele ser inversamente proporcional a la probabilidad de que un grano de polen fertilice a otra (Fægri y Iversen, 1989).

Todas estas características, unidas a la lenta evolución de la vegetación, hacen posible relacionar la vegetación actual y la del pasado, particularmente durante el periodo Cuaternario.

2.3. Objetivos del trabajo

Este trabajo es una contribución al conocimiento de la evolución paleoambiental del Macizo de Pena Trevinca (Ourense, Galicia) durante los últimos 2900 años, basado en el estudio polínico de los sedimentos de la Laguna de Ocelo.

Los objetivos de este trabajo son:

- Describir los principales cambios en las comunidades vegetales en el entorno de la Laguna de Ocelo en los últimos 2900 años.
- Relacionar esos cambios en las comunidades vegetales con la variabilidad del clima y otros factores que se produjeron en ese periodo de tiempo.

3. Zona de estudio

La Laguna de Ocelo (Huso 29T, UTM X675539, Y4677158; Datum ETRS89) es una laguna de alta montaña que se sitúa a 1517 m.s.n.m. y que se localiza en el Macizo de Pena Trevinca, en la Serra do Eixe, a 13 km al este de la localidad de A Veiga (Ourense, Galicia; Fig. 1).

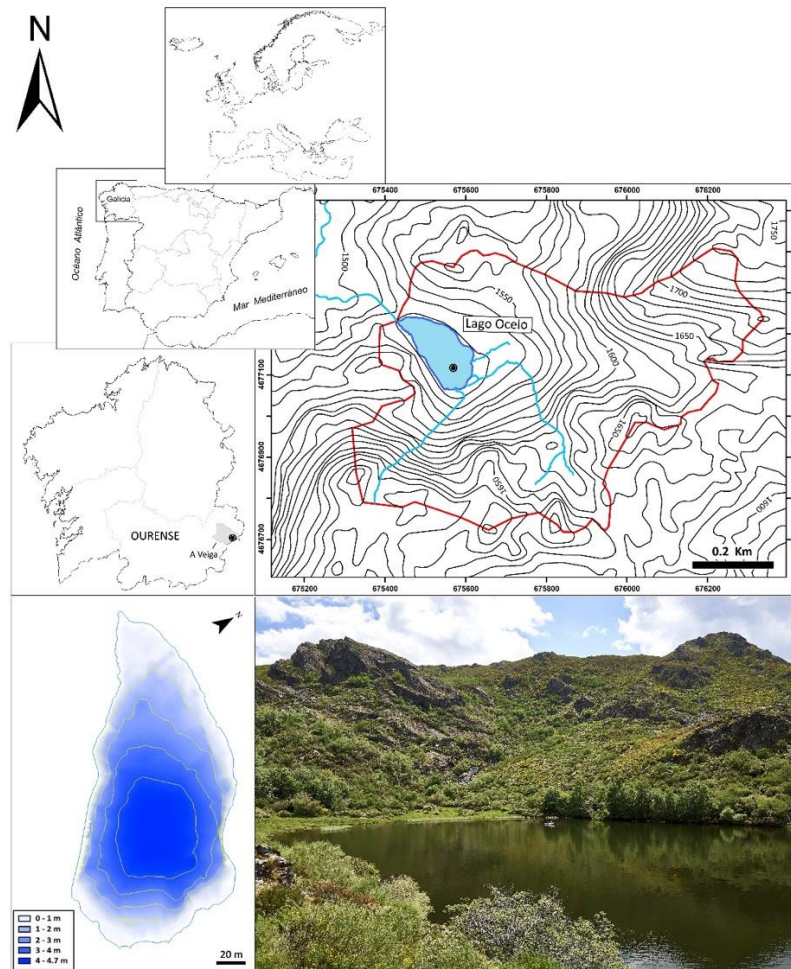


Figura 1. Situación de la Laguna de Ocelo (imágenes superiores), con el lugar de muestreo (círculo negro indicando el punto en el que se sacó el testigo OCE21-3GA) y delimitación de la cuenca hidrológica (señalada en color rojo). En las imágenes inferiores, batimetría y fotografía panorámica de la Laguna de Ocelo en el verano de 2021 (Díaz, 2022).

El paisaje que rodea la laguna y su cuenca es rocoso y muy escarpado. La laguna y su cuenca se encuentran sobre materiales compuestos por tobas epiclásticas de edad cambro-ordovícica que son parte de la Formación Olo de Sapo del Macizo Ibérico (García-Arias et al., 2018), en la cual se localiza el Macizo de Pena Trevinca. En la región en la cual está asentada dicha Formación, dominan las rocas metamórficas, fundamentalmente el ortogneis granular (“Olo de Sapo”), con intercalaciones de gneis, esquisto y pizarra. Durante la Orogenia Varisca, dichos materiales sufrieron intensas deformaciones y plegamientos, además de ser cortados, en el Carbonífero, mediante intrusiones ígneas. Por último, para entender este paisaje actual en la zona del Macizo de Pena Trevinca, es importante añadir que se levantaron los bloques de basamento cristalino y que, durante la Orogenia Alpina, se produjo la deformación de la microplaca ibérica (Pérez-Alberti y Gómez-Pazo, 2023).

La localización geográfica de la laguna sitúa a la misma en una zona con un clima supramediterráneo medio subhúmedo (Rivas Martínez, 2007). Las precipitaciones en Pena

Trevinca, cerca de dónde se sitúa la laguna y su cuenca, presentan una media anual de 1150 ± 115 mm, por lo que se consideran elevadas, y se reparten de manera irregular a lo largo del año y en forma de nieve en el invierno. En cuanto a las temperaturas, hay que señalar que, en Pena Trevinca, la temperatura media es de $8,2 \pm 1,3^\circ\text{C}$, la temperatura máxima media es de $13,6 \pm 1,3^\circ\text{C}$ y la temperatura mínima media es de $2,6 \pm 1,4^\circ\text{C}$ (AEMET, 2023). Desde un punto de vista biogeográfico, la zona se encuentra dentro del sector Ourensano-Sanabrense, en la provincia Carpetano-Ibérico-Leonesa, en la región Mediterránea (Rivas Martínez, 1987), cerca del límite sur de la Región Eurosiberiana (Ortiz Núñez, 1987).

La Laguna de Ocelo presenta un área de 1,79 ha de extensión, 224,7 m de longitud máxima, 110,7 m de anchura máxima y 5,5 m de profundidad máxima. Se localiza en una cuenca con un área total de 45,23 ha, en la que hay una presencia humana muy escasa. La laguna recibe agua por parte de tres arroyos (dos de los cuales solo aportan agua a la laguna durante el invierno). Estos arroyos desembocan en la turbera adyacente a la laguna (Díaz, 2022) y el que aporta agua de forma continua todo el año recibe el nombre de Regueiro dos Poulos. Las aguas superficiales de la laguna quedan cubiertas por una fina capa de hielo durante el invierno.

Los parámetros limnológicos principales de esta laguna se muestran en la Tabla 1. La laguna es oligotrófica y tiene un carácter holomíctico y monomíctico a dimíctico (Díaz, 2022).

Tabla 1. Parámetros limnológicos principales y medias anuales de las variables ambientales de la Laguna de Ocelo: volumen de la laguna (V), profundidad máxima (Z_{\max}), área de la laguna (LA), temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (E.C.), oxígeno disuelto (O_2), fósforo total (TP), nitrógeno total (TN), fosfato (PO_4^{3-}), nitrato (NO_3), silicio disuelto (Si), carbono orgánico disuelto (DOC), transparencia (Z_{SD}), clorofila a (Chla), Índice del Estado Trófico (Carlson, 1977) (TSI). Datos del Grupo de Investigación en Cambio Ambiental de la Universidade da Coruña (GRICA-UDC) (Tabla tomada de Díaz, 2022).

Parámetros	Variables	Valores
Hidrológicos	V (10^3 m ³)	43,74
	Z_{\max} (m)	5,5
	LA (km ²)	1,79
Físico-químicos	T ($^\circ\text{C}$)	7,76
	Ph	6,28
	E.C. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	15,59
	O_2 (mg l ⁻¹)	7,28
	TP ($\mu\text{g l}^{-1}$)	11,72
	TN (mg l ⁻¹)	0,19
	PO_4^{3-} (mg l ⁻¹)	0,02
	NO_3 (mg l ⁻¹)	0,84
	Si (mg l ⁻¹)	0,37
	DOC (mg l ⁻¹)	2,83
	Z_{SD} (m)	5
	Chla	0,21
	TSI	33,64

La situación geográfica de la laguna en la Región Biogeográfica Mediterránea y su cercanía con el límite sur de la Eurosiberiana, de la cual llegan influencias a través de la Cordillera Cantábrica, permite que cohabiten comunidades vegetales de ambas regiones, aunque la mayoría de las comunidades son mediterráneas (Ortiz Núñez, 1987). La vegetación en esta laguna se describe en Díaz (2022):

- La vegetación acuática ocupa menos del 30% del área total de la laguna: en las zonas más profundas, se encuentra *Potamogeton natans* L. de forma principal, mientras que, hacia la orilla, se encuentran orlas de *Ranunculus peltatus* Schrank, *Antinoria agrostidea* (DC.) Parl y *Baldellia ranunculoides* (L.) Parl.
- En la turbera adyacente a la laguna se pueden encontrar especies de los géneros *Sphagnum* y *Carex*, así como las especies *Carex duriaei* Steud. ex Kunze, *Agrostis hesperica* Romero García, Blanca, G. López y C. Morales, *Molinia caerulea* (L.) Moench y *Erica mackaiana* Bab.
- En la cuenca de la laguna predomina la vegetación arbustiva de genistas, con *Erica arborea* L. y *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, y elementos de la flora mediterránea (como *Pterospartum tridentatum* (L.) Willk., *Genista obtusiramea* J. Gay y *Genista sanabrensis* Valdés Berm., Castrov. y Casaseca). En cambio, la vegetación arbórea está presente de forma puntual en los márgenes de la laguna y en la desembocadura (sobre todo, *Betula alba* Roth y *Salix atrocinerea* L.).

Por último, cabe señalar que se introdujo en la laguna la trucha marrón (*Salmo trutta fario*, Linnaeus 1758) para la pesca recreativa (Carballeira, com. pers.).

4. Material y métodos

4.1. Obtención de testigos y litología

Los testigos con material sedimentario se obtuvieron de la Laguna de Ocelo en una campaña de muestreo realizada en abril de 2021 por miembros del Grupo de Investigación en Cambio Ambiental de la Universidade da Coruña (GRICA-UDC). Para extraer esos testigos de sedimento se empleó un sondeador de gravedad UWITEC® desde una embarcación tipo zodiac. Se obtuvieron así seis testigos, los cuales se conservaron a una temperatura de 4°C, en una cámara de oscuridad hasta su envío a los laboratorios del Departamento de Dinámica de la Tierra y del Océano de la Universitat de Barcelona (UB). En esos laboratorios se procedió a dividir los testigos longitudinalmente en dos semicilindros con el objeto de hacer

su descripción sedimentológica y de facies sedimentarias por parte del Dr. Alberto Sáez (detalladas en Díaz, 2022).

Para el estudio polínico de este trabajo, se escogió el testigo más largo (de 131 cm) y el mejor conservado de entre los seis que se obtuvieron: testigo OCE21-3GA.

4.2. Cronología

El marco cronológico del testigo se deriva de Díaz (2022). Básicamente, el testigo OCE21-3GA se dató para sus primeros 30 cm por radiometría con ^{210}Pb y ^{137}Cs en la St. Croix Watershed Research Station (Minnesota, USA). y, para el resto del testigo, utilizando el método del carbono-14 en el Laboratoire de Radiochronologie (Université de Laval, Quebec, Canadá) y en el BETA Analytic Inc. Laboratory (Miami, EE.UU.). A partir de las edades resultantes, se construyó un modelo de edad-profundidad (Díaz, 2022).

Todas las edades a las que se hace referencia en este texto emplean la nomenclatura BCE/CE (*Before Common Era* y *Common Era*). La Era Común comprende los últimos 2000 años. Esta nomenclatura es la versión seular de las edades BC (*Before Christ*, Antes de Cristo) y AD (*Anno Domini*) (Roberts, 2014).

4.3. Análisis polínico

4.3.1. Muestras preparadas en el laboratorio

Para poder hacer este Trabajo de Fin de Máster (TFM) se analizó el contenido polínico de nueve muestras del citado testigo previamente tratadas en el laboratorio EPOC (Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux) de la Universidad de Burdeos (Francia). La preparación de dichas muestras se hizo siguiendo el método de De Vernal et al. (1996), consistente en la realización de una serie de procesos físicos y químicos con el objetivo de separar el material esporopolínico sin dañar a éste. En ese proceso, la estimación de valores de concentración polínica (CP, granos g^{-1}) se hace utilizando pastillas de esporas de *Lycopodium*, de concentración conocida, como marcador externo (Stockmarr, 1971). Cada pastilla utilizada presenta 10000 esporas de *Lycopodium*.

4.3.2. Estudio de los tipos polínicos de la flora gallega

Antes de realizar el montaje y estudio de las muestras ya preparadas, es necesario familiarizarse con los palinomorfos más frecuentes de la flora gallega que nos encontraremos en el mismo. La gran cantidad y diversidad de tipos polínicos presentes en los sedimentos

hace que la tarea de identificación y recuento de los mismos sea muy laboriosa, por lo que es imprescindible un conocimiento básico de las características polínicas, información que se puede obtener en distintas fuentes (fototecas, palinotecas, claves, etc.)

En este TFM se hizo una observación previa de muestras de granos de polen actuales de los taxones arbóreos, arbustivos y herbáceos más frecuentes de la flora gallega a partir de la Palinoteca del GRICA-UDC. Complementariamente, los granos de polen de los taxones más frecuentes de la flora gallega (Saa et al., 1996) se dibujaron con el objetivo de familiarizarse con los mismos y permitir identificarlos correctamente en las muestras a analizar.

4.3.3. Montaje de las muestras en el laboratorio

Para hacer medidas volumétricas de los residuos y elaborar preparaciones microscópicas, se sigue el procedimiento que se recoge a continuación:

- Realización de medidas volumétricas de los residuos: el residuo, que posee glicerina pura fenolada, se recoge con una pipeta automática de puntas plásticas desechables, midiendo su volumen. Se realiza una preparación de chequeo de cada una de estas diluciones, para así poder determinar la dilución adecuada para el examen microscópico definitivo de la muestra.
- Montaje de las preparaciones microscópicas: sobre un portaobjetos destinado a la observación microscópica, se expanden 50 μ l de la suspensión glicerinada y se superpone un cubreobjetos de 24 x 50 mm, trazando dos líneas con histolaca en sus bordes y en sentido longitudinal, y se dejan secar. En el momento del montaje, se superpone otra línea con histolaca encima de esas dos líneas, con el objetivo de que el espacio entre porta y cubre sea suficiente para que haya movimiento de los granos de polen y poder así identificarlos más fácilmente. Después, se sellan los bordes con la misma histolaca, consiguiéndose de esta manera preparaciones móviles.

4.3.4. Recuento de las muestras esporopólicas

Una vez se han montado las muestras, se procede a su observación en un microscopio de campo claro Nikon Labophot II a 400 aumentos en el laboratorio de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias de la UDC.

Para caracterizar la vegetación que ha habido en el entorno de la Laguna de Ocelo a lo largo del tiempo, hay que identificar y contar los granos de polen de cada muestra y ver a qué grupos taxonómicos (tipo polínico, familia o género) pertenecen. El procedimiento al

microscopio consiste en la lectura en transectos horizontales de un número mínimo de granos de polen y esporas, excluyendo *Lycopodium* (exótico), Cyperaceae e *Isoetes* (estos dos últimos son granos de polen de familias de plantas acuáticas). El número mínimo de granos de polen que se ha contado en cada muestra es de 150, cifra con la cual se puede reconstruir la vegetación con una precisión del 90% (Lythel y Wahl, 2005).

Este procedimiento de conteo se repite con un número significativo de muestras de diferentes niveles estratigráficos. De esta forma, se puedan sacar conclusiones concretas acerca de la evolución de la composición de la vegetación a lo largo del tiempo en el entorno de la Laguna de Ocelo.

El programa informático C2 se ha usado para la realización de los diagramas polínicos de abundancias porcentuales y concentraciones de los diferentes taxones (Juggins, 2003). La presentación descriptiva de las zonas polínicas está basada en el concepto de zona de asociación o “assemblage zone” (Birks and Birks, 1980). Para la definición de estas zonas se realizó un análisis clúster estratigráficamente constreñido, usando como indicador de disimilaridad la distancia euclídea entre muestras (método CONISS; Grimm, 1987), utilizando el programa PSIMPOLL 4.25 (Bennett, 2002). La significación estadística de las zonas se midió según el modelo del palo quebrado (“broken stick”) de la distribución de la varianza (Bennett, 1996) utilizando también el programa PSIMPOLL 4.25.

5. Resultados

5.1. Marco cronológico y sedimentológico

El modelo de edad-profundidad utilizado en este trabajo, como ya se indicó en la metodología, asigna una edad aproximada de 2840 años cal BP (años calibrados antes del presente; *Before Present*) al registro estudiado en este TFM, por lo que puede decirse que cubre la historia de la laguna de los últimos 2900 años aproximadamente. Dada la inexistencia de hiatos, el registro comprende las siguientes fases climáticas: Subatlántico (SA), Periodo Cálido Romano (RWP), Alta Edad Media o Edad Oscura (DA), Anomalía Climática Medieval (MCA), Pequeña Edad del Hielo (LIA) y Periodo Industrial (IP).

Desde el punto de vista litológico, el testigo muestra cuatro unidades litoestratigráficas en las que se encuentran representadas dos tipos de facies sedimentarias: una de fangos limosos a arenosos masivos, representada en las Unidades 1 y 3, y otra de fangos arcillosos masivos propia de las Unidades 2 y 4 (Fig. 2).

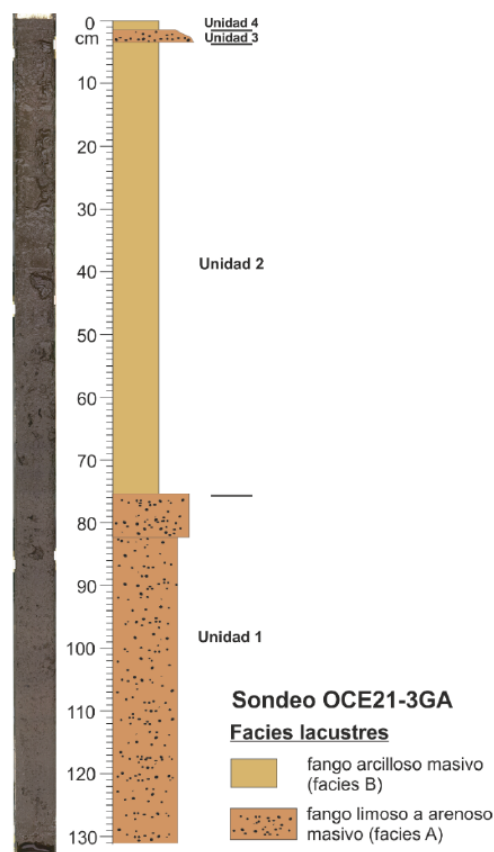


Figura 2. Esquema que representa al sondeo OCE21-3GA: a la izquierda, fotografía de alta resolución del testigo y, a la derecha, unidades litoestratigráficas definidas (tomado de Díaz, 2022).

5.2. Descripción de las muestras polínicas

Se han identificado 26 taxones en las nueve muestras analizadas. Los taxones dominantes son, principalmente, *Betula*, Poaceae e *Isoetes* y, en menor medida, Ericaceae y *Quercus*.

Los porcentajes de polen arbóreo (AP) y de polen no arbóreo (NAP) muestran fuertes oscilaciones a lo largo del registro (Fig. 3). El taxón dominante, en toda la secuencia sedimentaria, es el género *Betula*, menos a finales del RWP y en el actual IP, cuando predomina el género *Quercus*. En cuanto a los taxones no arbóreos, el taxón dominante, en toda la secuencia sedimentaria, es la familia Poaceae, con otros taxones no arbóreos como Ericaceae, *Aster*, *Artemisia* y *Plantago* (Fig. 3). Por su parte, el porcentaje de acuáticas es siempre muy alto y apenas muestra variaciones, siendo *Isoetes* el taxón más destacado (Fig. 3).

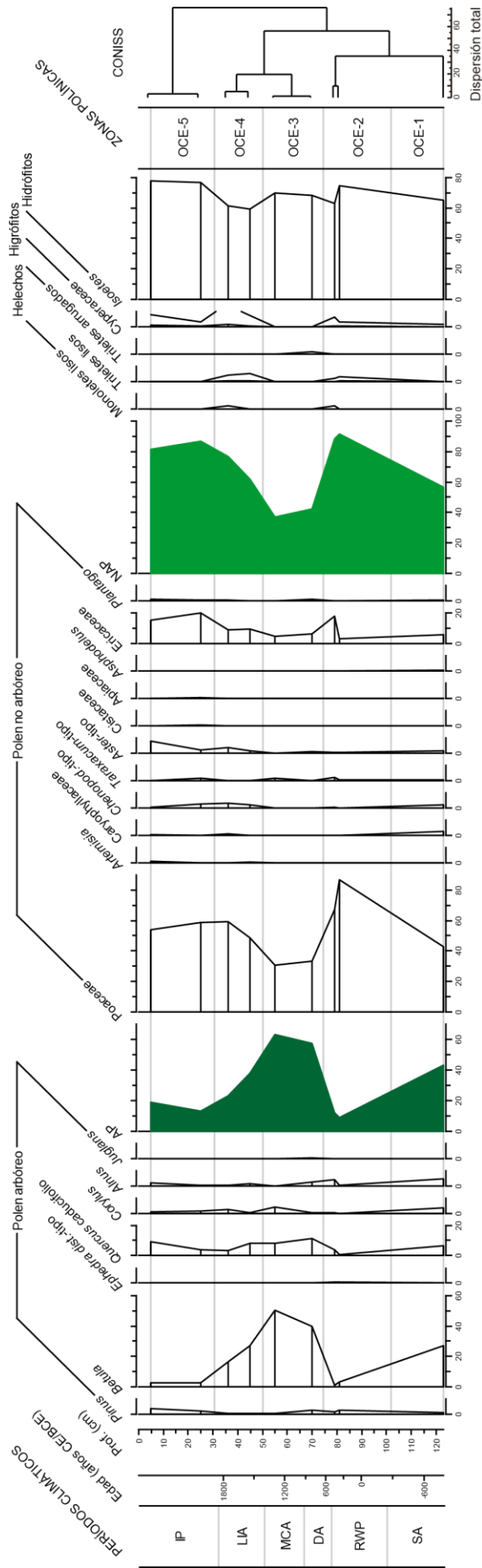


Figura 3. Diagrama de porcentajes polínicos del testigo OCE21-3GA (taxones seleccionados). AP: polen arbóreo; NAP: polen no arbóreo; SA: Período Subatlántico; RWP: Período Cálido Romano; DA: Alta Edad Media; MCA: Anomalía Climática Medieval; LIA: Pequeña Edad del Hielo; IP: Período Industrial. Curva de exageración= x5.

Por último, con respecto a la evolución de la concentración polínica de los taxones principales (o “polen principal”, procedente de taxones arbóreos y no arbóreos), hay fuertes fluctuaciones de esta en toda la secuencia polínica, destacando las bajas registradas en la actualidad con respecto a otros periodos (Anexo-Fig. 1).

En lo que sigue se realiza una descripción detallada del contenido polínico de cada una de las muestras estudiadas.

OCE21-3GA (123 cm, edad estimada: 2708 cal BP/758 BCE)

Esta muestra polínica se caracteriza por tener un porcentaje de AP bajo, alrededor del 43% (Fig. 3). Este porcentaje de AP es aportado, sobre todo, por los géneros *Betula* (cerca del 27%) y *Quercus* (más del 6%). Otros taxones arbóreos presentes en esta zona polínica son: *Alnus* (con un porcentaje inferior al 5%), *Corylus* (menos del 4%) y *Pinus* (más del 1%) (Fig. 3).

En cambio, el porcentaje de NAP es alto, cercano al 57%, y es aportado por la familia Poaceae en su mayor parte (alrededor del 43%) y, en menor medida, por Ericaceae (menos del 6%). Otros taxones no arbóreos presentes son los tipos Caryophyllaceae (menos del 3%), Chenopodiaceae (más del 2%), *Aster* (menos del 2%), y en menor medida, *Taraxacum*, *Asphodelus* y *Plantago* (Fig. 3).

También se puede observar presencia de plantas acuáticas, destacando las esporas del hidrófito *Isoetes* y, en mucha menor medida, la presencia de granos de polen de Cyperaceae, que es una familia de higrófitas (Fig. 3).

Esta muestra presenta una CP de polen principal de algo más de 386×10^3 granos de polen cm^{-3} de sedimento (Anexo-Fig. 1).

OCE21-3GA (81 cm, edad estimada: 1646 cal BP/304 CE)

Esta muestra polínica tiene un porcentaje de AP muy bajo, de menos del 9%, con un descenso de cerca del 35% con respecto a la muestra anterior (Fig. 3). Este porcentaje de AP es aportado por los géneros *Betula* y *Pinus* (alrededor del 3%), *Ephedra distachya*, *Quercus* y *Alnus* (Fig. 3).

Por otro lado, el porcentaje de NAP es, consecuentemente, muy alto (por encima del 91%). Este polen es aportado por la familia Poaceae en su mayor parte (con un porcentaje cercano

al 87%). Otros taxones no arbóreos presentes son los tipos Ericaceae (más del 3%), *Aster* y *Taraxacum* (Fig. 3).

En esta muestra también se observan, procedentes de helechos, esporas triletas lisas. Además, hay una importante presencia de plantas acuáticas (destacando las esporas de *Isoetes* y, en mucha menor medida, la presencia de granos de polen de Cyperaceae) (Fig. 3).

La CP de polen principal de esta muestra es de aproximadamente 250×10^3 granos de polen cm^{-3} de sedimento (Anexo-Fig. 1).

OCE21-3GA (79 cm, edad estimada: 1530 cal BP/420 CE)

Esta muestra polínica tiene, como el nivel anterior, un porcentaje de AP muy bajo, de menos del 12% (Fig. 3). Este porcentaje es aportado por los taxones *Quercus* y *Alnus* (ambos cerca del 4%), *Betula* y *Pinus* (más del 1%) y presencia de *Corylus* y *Ephedra distachya* (Fig. 3).

Por otra parte, el porcentaje de NAP es muy alto (más del 88%), con una ligera caída de más del 3% con respecto a la muestra anterior. Dicho porcentaje es aportado por el taxón Poaceae en su mayor parte (más del 67%) y, en menor medida, por Ericaceae (menos del 18%). Otros taxones no arbóreos presentes son *Taraxacum* (cerca del 2%), *Aster* y Chenopodiaceae (Fig. 3).

Procedentes de helechos, también se pueden ver esporas monoletas y triletas lisas y arrugadas. Además, hay una importante presencia de plantas acuáticas (destacando las esporas de *Isoetes* y, en mucha menor medida, Cyperaceae) (Fig. 3).

Esta muestra presenta una CP de polen principal ligeramente superior a los 215×10^3 granos de polen cm^{-3} de sedimento (Anexo-Fig. 1).

OCE21-3GA (70 cm, edad estimada: 1070 cal BP/880 CE)

Esta muestra polínica se caracteriza por un fuerte incremento del porcentaje de AP, que llega hasta cerca del 58% (Fig. 3) y es aportado, especialmente, por el género *Betula* (alrededor del 40%). Otro taxón arbóreo significativo en esta muestra es *Quercus* (más del 11%). También cabe señalar que, en esta zona polínica, aparecen los taxones arbóreos *Pinus* y *Alnus* (ambos menos del 3%), *Corylus* y *Juglans* (Fig. 3).

Por otro lado, el porcentaje de NAP es superior al 42% e indica una codominancia entre el AP y NAP y que supone una caída de casi el 46% con respecto a la muestra anterior. Este porcentaje de NAP es aportado por el taxón Poaceae en su mayor parte (más del 33%) y, en

menor medida, por Ericaceae (menos del 7%). Otros taxones no arbóreos presentes son *Aster* (con un porcentaje superior al 1%) y *Plantago* (menos del 1%) (Fig. 3).

También se pueden ver, procedentes de helechos, esporas triletas arrugadas. Además, hay mucha representación de plantas acuáticas, fundamentalmente, *Isoetes* (Fig. 3).

Esta muestra tiene una CP de aproximadamente 216×10^3 granos de polen cm^{-3} de sedimento (Anexo-Fig. 1).

OCE21-3GA (55 cm, edad estimada: 657 cal BP/1293 CE)

Este nivel mantiene la subida del porcentaje de AP registrada en el nivel anterior, subiendo cerca de un 6% y alcanzándose el valor más alto de todo el registro, superior al 63% (Fig. 3). El porcentaje de AP es aportado, de forma destacada, por el género *Betula* (cerca del 51%). Otro taxón arbóreo relevante es *Quercus* (con un porcentaje cercano al 8%), mientras que *Corylus* registra un valor porcentual mucho menor (cerca del 4%). Otro taxón arbóreo del que hay presencia en este nivel es *Pinus* (con un porcentaje inferior al 1%).

Recíprocamente, el porcentaje de NAP es el más bajo de todas las muestras polínicas (menos del 37%). Este porcentaje es aportado por el taxón Poaceae en su mayor parte (siendo cercano al 31%). Otros taxones no arbóreos existentes en esta zona son Ericaceae (menos del 5%) y *Taraxacum* (más del 1%).

Además, la muestra presenta numerosas esporas de plantas acuáticas (concretamente, de *Isoetes*) (Fig. 3).

Esta muestra presenta una CP de, prácticamente, 400×10^3 granos de polen cm^{-3} de sedimento (Anexo-Fig. 1).

OCE21-3GA (45 cm, edad estimada: 413 cal BP/1537 CE)

En esta muestra polínica se produce una bajada superior al 25% del porcentaje de AP que registra un valor de 38% (Fig. 3). Este porcentaje procede, principalmente, del género *Betula* (más del 27%). Otro taxón arbóreo destacado es *Quercus* (8%). El resto de los taxones arbóreos presentes en esta zona polínica presentan porcentajes mucho menores, como *Alnus* (más del 1%), *Corylus* y *Pinus* (Fig. 3).

En correspondencia a la disminución del AP, el de NAP aumenta hasta el 62 %, debido, principalmente, a la familia Poaceae (cerca de 49%). Otro taxón destacado es Ericaceae, con

un porcentaje de más del 9%. Otros taxones no arbóreos existentes en esta zona son *Chenopodiaceae* (2%), *Aster* (más del 1%) y *Artemisia* (Fig. 3).

También se pueden observar, procedentes de helechos, esporas triletas lisas. Además, hay una importante presencia de plantas acuáticas (especialmente, esporas de *Isoetes* y granos de polen de *Cyperaceae*, aunque en mucha menor medida) (Fig. 3).

La CP de esta muestra sufre un fuerte descenso con respecto al nivel anterior, y es algo mayor que 172×10^3 granos de polen/cm⁻³ de sedimento (Anexo-Fig. 1).

OCE21-3GA (36 cm, edad estimada: 187 cal BP/1763 CE)

En esta muestra polínica, el porcentaje de AP cae un 15% (descendiendo hasta alrededor del 23%) con respecto a la anterior muestra. El porcentaje de AP es aportado, en gran parte, por el género *Betula* (más del 16%). Otros taxones arbóreos presentes en esta zona polínica son *Quercus* (más del 3%), *Corylus* (menos del 3%), *Pinus* y *Alnus* (Fig. 3).

Recíprocamente, el porcentaje de NAP registrado es alto (cerca del 77%) y es aportado, mayoritariamente, por el taxón *Poaceae* (más del 59%), y por *Ericaceae* (cerca del 9%), en menor medida. Otros taxones no arbóreos existentes en este nivel son *Aster* (con un porcentaje menor del 4%), *Chenopodiaceae* (más del 3%), *Caryophyllaceae* (más del 1%) y *Plantago* (Fig. 3).

Procedentes de helechos, también hay esporas monoletas y triletas lisas, así como numerosa presencia de plantas acuáticas (destacando, especialmente, las esporas de *Isoetes*, y, en mucha menor medida, granos de polen de *Cyperaceae*) (Fig. 3).

La CP de esta muestra apenas supera los 147×10^3 granos de polen cm⁻³ de sedimento (Anexo-Fig. 1).

OCE21-3GA (25 cm, edad estimada: 28 cal BP/1922 CE)

Este nivel se caracteriza por mantener la disminución progresiva de AP (superior al 13%) con respecto a los niveles anteriores (Fig. 3), el cual es aportado por los taxones *Quercus* (cerca del 4%), *Betula* (menos del 3%), *Pinus* (cerca del 2%), *Corylus* (más del 1%) y *Alnus* (Fig. 3).

El porcentaje de NAP es, correspondientemente, muy alto (superior al 86%), presenta una subida cercana al 10% y es aportado por el taxón *Poaceae* en su mayor parte (cerca del 59%) y, en menor medida, por *Ericaceae* (cerca del 20%). Otros taxones no arbóreos presentes son

Chenopodiaceae (menos del 3%), *Aster* (cerca del 2%), *Taraxacum* (más del 1%), *Plantago*, Cistaceae y Apiaceae (Fig. 3).

También se pueden ver esporas y granos de polen de plantas acuáticas (*Isoetes* y Cyperaceae, fundamentalmente) (Fig. 3).

Esta muestra posee una CP situada en torno a los 463×10^3 granos de polen cm^{-3} de sedimento (Anexo-Fig. 1).

OCE21-3GA (5 cm, edad estimada: -44 cal BP/1994 CE)

Esta muestra polínica, situada a techo del testigo, refleja un porcentaje de AP muy bajo (inferior al 19%) (Fig. 3). Con respecto a la muestra anterior, en esta se produce una ligera subida del porcentaje de AP superior al 5%. Este polen es aportado, principalmente, por el género *Quercus* (más del 9%) y, secundariamente, por otros taxones como *Pinus* (menos del 4%), *Betula* (menos del 3%), *Alnus* (cerca del 2%) y *Corylus* (más del 1%).

Por consiguiente, el porcentaje de NAP es muy alto registrando un valor superior al 81%, el cual es aportado por el taxón Poaceae en su mayor parte (más del 54%) y, en menor medida, por Ericaceae (más del 15%) y por *Aster* (cerca del 8%). Otros taxones no arbóreos presentes son *Artemisia* y *Plantago* (más del 1%), Chenopodiaceae y Caryophyllaceae.

La muestra presenta también esporas y granos de polen de plantas acuáticas (sobre todo, *Isoetes* y Cyperaceae).

La CP de esta muestra es de aproximadamente 178×10^3 granos de polen cm^{-3} de sedimento (Anexo-Fig. 1).

5.3. Zonación polínica

La aplicación del modelo del palo quebrado (*broken stick*), a la matriz de abundancias porcentuales de los taxones polínicos identificados a lo largo del registro, ha permitido definir cinco zonas estadísticamente significativas:

OCE-I (Profundidad: de 123 cm a 102 cm; Edad estimada (Fig. 3 y Anexo-Fig. 1): 758 BCE-297 BCE)

En esta zona polínica (que solo abarca una muestra) se puede observar, con respecto al polen principal, una codominancia entre el AP (en el cual destaca *Betula* y, de forma menos resaltable, *Quercus*) y el NAP (el cual tiene un porcentaje ligeramente más alto que el

arbóreo) y que es aportado, mayoritariamente, por la familia Poaceae y, en menor medida, por la familia Ericaceae. Además, hay mucho polen procedente de plantas acuáticas (sobre todo de *Isoetes*) (Fig. 3).

Por último, cabe indicar que, a lo largo de OCE-I, se produce un declive del porcentaje de AP (Fig. 3) y de la concentración del polen principal (Anexo-Fig. 1).

OCE-II (Profundidad: de 102 cm a 74,5 cm; Edad estimada (Fig. 3 y Anexo-Fig. 1): 297 BCE-667 CE)

OCE-II comprende dos muestras y se caracteriza por tener el porcentaje de AP más bajo de toda la secuencia polínica, el cual es aportado, fundamentalmente, por estos taxones: *Betula*, *Quercus*, *Alnus* y *Pinus* (Fig. 3). Consecuentemente, el porcentaje medio de NAP es el más elevado de toda la secuencia polínica, y procede, mayoritariamente, de la familia Poaceae y, en menor medida, de la familia Ericaceae (Fig. 3). También cabe mencionar que, procedentes de helechos, se observan esporas monoletas y triletas lisas, además de numerosa presencia de plantas acuáticas (destacando el género *Isoetes*) (Fig. 3).

En OCE-II, desde los 102 cm hasta los 81 cm de profundidad, el porcentaje de AP declina y, como consecuencia, aumenta el porcentaje del NAP. A partir de los 81 cm de profundidad, el porcentaje de NAP empieza a decaer, a la vez que aumenta el arbóreo, continuando así hasta el límite superior de esta zona (Fig. 3). Por último, hay que decir que la concentración polínica de taxones principales cae hasta los 79 cm de profundidad, cuando empieza a aumentar, de manera muy escasa, hasta el límite superior de la zona (Anexo-Fig. 1).

OCE-III (Profundidad: de 74,5 cm a 50 cm; Edad estimada (Fig. 3 y Anexo-Fig. 1): 667 CE-1417 CE)

Esta zona polínica abarca dos muestras y presenta el porcentaje medio de AP más alto de toda la secuencia sedimentaria (Fig. 3), que procede de varios taxones, especialmente, del género *Betula* y, de forma más minoritaria, del género *Quercus*. Como consecuencia de esto, el porcentaje medio de NAP es el más bajo de todo el diagrama polínico y proviene de varios taxones, sobre todo, de la familia Poaceae, en su mayor parte, y de la familia Ericaceae (Fig. 3). En OCE-III, también se encuentran esporas triletas arrugadas de helechos y de plantas acuáticas, concretamente, del género *Isoetes* (Fig. 3).

Por último, es importante indicar que el porcentaje de AP aumenta hasta los 55 cm de profundidad, cuando empieza a decrecer (mientras que va aumentando el porcentaje de

NAP) (Fig. 3), además de que crece la concentración polínica hasta los 55 cm de profundidad, cuando vuelve a caer (Anexo-Fig. 1).

OCE-IV (Profundidad: de 50 cm a 30,5 cm; Edad estimada (Fig. 3 y Anexo-Fig. 1): 1417 CE-1879 CE)

OCE-IV está formada por dos muestras y posee un porcentaje medio de AP bajo, que es aportado, principalmente, por los géneros *Betula* y *Quercus*. Esto indica que el porcentaje de NAP es elevado, el cual es aportado por el taxón Poaceae, mayoritariamente y, en menor medida, por Ericaceae y *Artemisia* (Fig. 3). También hay esporas monoletas y triletas lisas de helechos y gran cantidad de plantas acuáticas, sobre todo *Isoetes* (Fig. 3).

En esta zona se produce un continuo decrecimiento del porcentaje de AP y un aumento del porcentaje del NAP hasta su final (Fig. 3). Con respecto a la concentración polínica de los principales taxones, se produce una caída de esta hasta los 36 cm, desde donde aumenta hasta finalizar OCE-4 (Anexo-Fig. 1).

OCE-V (Profundidad: de 30,5 cm a 5 cm; Edad estimada (Fig. 3 y Anexo-Fig. 1): 1879 CE-1994 CE)

OCE-V está constituida por dos muestras y posee un porcentaje medio de AP bastante bajo, que es aportado, principalmente, por el género *Quercus*, entre otros taxones. Esto indica que el porcentaje de NAP es bastante elevado, además de ser aportado por el taxón Poaceae, mayoritariamente y, en menor medida, por Ericaceae, además de otros taxones (Fig. 3). También hay una gran cantidad de esporas de *Isoetes* (Fig. 3).

En esta zona se produce un continuo crecimiento del porcentaje de AP y una disminución del porcentaje del NAP (Fig. 3). Con respecto a la concentración polínica de los principales taxones, se produce un aumento hasta los 25 cm, desde donde empieza a caer hasta los 5 cm (donde termina la secuencia sedimentológica analizada) (Anexo-Fig. 1).

6. Discusión

Gracias a la integración de los datos palinológicos obtenidos en este trabajo, junto con la información previa sobre cronología, sedimentología, geoquímica y micropaleontología obtenida para el mismo testigo OCE21-3GA (Díaz, 2022; López-Fernández, 2022) se ha podido hacer una interpretación preliminar de los grandes cambios en la vegetación que han ocurrido en el entorno de la Laguna de Ocelo en los aproximadamente últimos 2900 años. No obstante, la resolución temporal del registro polínico analizado en este TFM es de una

media de 344 años por muestra, una resolución temporal totalmente insuficiente para una descripción precisa de los paleoambientes del lugar.

La definición de las zonas de asociación polínica con significación estadística ha permitido establecer cinco fases ambientales bien caracterizadas.

Fase I (Zona polínica de Poaceae y *Betula*). Edad estimada (Fig. 4): 758 BCE-297 BCE. Periodo: Subatlántico

Esta fase coincide con la zona polínica OCE-I y con la base de la unidad litoestratigráfica 1 y se corresponde con el SA (Fig. 4), caracterizado por sus condiciones climáticas más frías y húmedas con respecto a otros periodos del Holoceno tardío (Büntgen et al., 2011). Estas condiciones parecen haberse registrado en la Laguna de Ocelo. El bajo contenido en carbono orgánico total (*total organic carbon*, TOC, Fig. 4), es el típico del ambiente frío con baja producción biológica del lago (Díaz, 2022). El lago registró, además, un nivel de agua alto, tal y como indican los valores máximos encontrados para todo el registro del índice de diatomeas euplanctónicas/perifíticas (Díaz, 2022). Otra prueba de que las condiciones fueron húmedas la sugiere la facies sedimentaria limo-arenosa de la Unidad 1 (Fig. 4), donde la presencia de materiales gruesos, como son las arenas, en el fondo del lago puede indicar una gran capacidad tractiva debido a la existencia de mayores escorrentías.

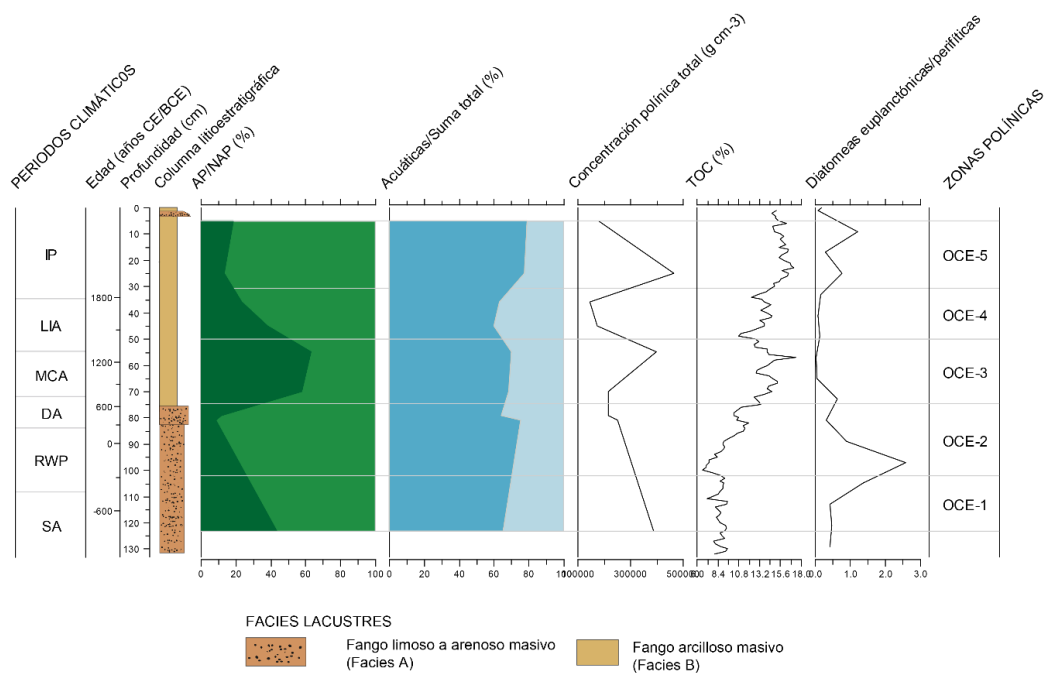


Figura 4. Diagrama sintético de abundancia porcentual de grupos polínicos y concentración total de polen (granos cm^{-3}), contenido en carbono orgánico de los sedimentos (TOC, %) e índice de diatomeas euplanctónicas/perifíticas del testigo OCE21-3GA representados en función de la edad y profundidad. Se representan también la separación de las zonas polínicas, columna estratigráfica y periodos climáticos. Datos de TOC, diatomeas y columna estratigráfica tomados de Díaz (2022).

Las condiciones frías y húmedas del SA favorecerían al NAP y a especies arbóreas como *Betula* (Santos Fidalgo, 1996). De hecho, se sabe que, en las sierras occidentales de la Cordillera Cantábrica, al inicio de este periodo persistiría *Quercus* y, en las zonas más elevadas y umbrosas de las montañas, *Betula*, que soporta mejor las condiciones climáticas más frías (Ramil-Rego et al., 1996, Muñoz Sobrino et al., 1997, 2001). Este hecho parece reflejarse en los resultados obtenidos en este trabajo.

No obstante, en esta fase, se puede observar que la concentración de pólenes va disminuyendo hacia su final y que predomina el NAP, cuyo porcentaje con respecto al total va aumentando hacia el techo de la zona. Esto podría deberse a la actividad humana, que produjo una fuerte deforestación durante el SA. Dicha deforestación comenzó con la introducción de técnicas agrícolas y ganaderas en el NO de la Península Ibérica y se aceleró con el desarrollo y auge de las culturas de la Edad de Bronce y del Hierro (Ramil-Rego et al., 2001). Esta última edad, se correspondería en Galicia con la “cultura castreña”, surgida en torno a los 600/500 BCE (López Cuevillas, F., 1953; Maluquer de Motes, J., 1975; Acuña Castroviejo y Calo Lourido, 1974). Según lo observado en los sedimentos, es posible que en el entorno de la Laguna de Ocelo se hubiera producido algún tipo de deforestación antrópica en esta fase. Dicha deforestación podría ser debida a actividades como la obtención de madera y la ganadería, dado que no se han encontrado indicadores polínicos o de otro tipo que sugieran actividades agrícolas. La presencia de *Asphodelus* podría indicar el uso del fuego como agente de deforestación.

Fase II (Zona polínica de Poaceae y Ericaceae). Edad estimada (Fig. 4): 297 BCE-667 CE. Periodo: Periodo Cálido Romano

Esta fase coincide con la zona polínica OCE-II y con la parte superior de la unidad litoestratigráfica 1 (Fig. 4), además de corresponderse con el RWP (Fig. 4). Este es un periodo, en general, más cálido y árido que otros del Holoceno tardío, como constatan los registros máximos de la temperatura superficial del mar en el margen atlántico en los últimos 2000 años (Abrantes et al., 2011; Cisneros et al., 2016), así como los registros continentales disponibles de humedad que señalan condiciones áridas dominantes en el norte de la Península Ibérica (Giralt et al., 2017). Sin embargo, los sedimentos de la Laguna de Ocelo registran valores elevados del índice de diatomeas euplanctónicas/perifíticas (Fig. 4) lo que, unido a un mayor contenido relativo en arenas, indica que las condiciones debieron ser en general húmedas en esta zona (Díaz, 2022). Dado que la Laguna de Ocelo está enclavada en

el límite entre las regiones Eurosiberiana y Mediterránea (Rivas Martínez, 1987) existe la posibilidad de un desplazamiento hacia el norte de la región Mediterránea durante este periodo cálido. Así, la Laguna de Ocelo se habría visto más influida por las condiciones mediterráneas de esta época, la de mayor disponibilidad hídrica en el sur de la Península Ibérica en los últimos 4000 años (Martín-Puertas et al., 2008).

Aunque estas condiciones cálidas y húmedas normalmente favorecerían a las especies arbóreas, el registro polínico de la Laguna de Ocelo muestra para este periodo bajas concentraciones polínicas y la predominancia del NAP (superior incluso a la de la fase anterior). La explicación más verosímil a este hecho se sustenta en las evidencias históricas que señalan una gran modificación del paisaje de la época en Galicia debida a la actividad humana. La romanización de la actual Galicia, el proceso mediante el cual la cultura romana absorbió lentamente a la “cultura castreña” se inició en Galicia a partir del siglo II BCE (Bermejo Barrera, 1980), pero lo hizo cuando gran parte de los bosques ya habían desaparecido y habían sido reemplazados por matorrales, praderas y labradíos (Ramil-Rego et al., 2001). Aun así, la romanización continuó la deforestación en Galicia, especialmente en zonas de baja altitud (Gutián Rivera, 2001), por la introducción de las villas romanas en el siglo I BCE (Rodríguez Colmenero, 1977; Acuña Fernández y Arias Vilas, 1983). También produjo deforestación en determinadas comarcas aisladas, debido al gran desarrollo de las explotaciones mineras, las cuales hicieron que se consumiera madera en las minas (Fariña Busto, 1981) o actuaron como focos de inmigración de personas procedentes de otros puntos de Gallaecia (antiguo nombre de Galicia) o de la meseta (Tranoy, 1981). En consecuencia, el registro polínico de la Laguna de Ocelo para el RWP parece más un reflejo de los cambios en el paisaje motivados por el fenómeno de la antropización que de las condiciones climáticas del momento.

Fase III (Zona polínica de *Betula* y *Poaceae*). Edad estimada (Fig. 4): 667 CE-1417 CE. Periodos: Alta Edad Media y Anomalía Climática Medieval

Esta fase se corresponde con la zona polínica OCE-III y coincide con la base de la unidad litoestratigráfica 2. Incluye a los periodos climáticos DA y MCA.

En el noroeste de la Península Ibérica, el periodo de la DA se caracterizó por ser frío y húmedo (Jambrina-Enríquez et al., 2014), circunstancia ésta última que se ve reflejada en los niveles de agua altos para la época en la Laguna de Ocelo, según muestran los valores del índice de diatomeas euplanctónicas/perifíticas (Fig. 4; Díaz, 2022). Por el contrario, los

registros continentales señalan que durante todo el MCA las condiciones climáticas eran áridas, tanto en el norte (Martín-Chivelet et al., 2011; Morellón et al., 2012), como en el centro (Sánchez-López et al., 2016) y el sur (Martín-Puertas et al., 2008). Esos mismos registros también señalan que las condiciones climáticas eran cálidas en toda la Península Ibérica (Giralt et al., 2017). Estas condiciones climáticas generales del MCA también se registraron en el entorno de la Laguna de Ocelo, cuyos sedimentos documentan valores muy bajos del índice de diatomeas euplanctónicas/perifíticas y, por tanto, niveles de agua también bajos, así como altos valores de producción, reflejados en la curva de TOC (Fig. 4; Díaz, 2022).

La dominancia observada de AP, especialmente *Betula*, durante la DA podría deberse a que las condiciones climáticas frías y húmedas favorecen a esta especie (Santos Fidalgo, 1996). No obstante, durante el MCA, el AP siguió alto, a pesar de las condiciones cálidas y áridas que hubo en la Península Ibérica, incluyendo la Laguna de Ocelo (Díaz, 2022). Dos razones, no excluyentes entre sí, podrían explicar esta discrepancia; a) una sobrerrepresentación del polen de *Betula*, tal y como sucede en los cercanos Montes de León durante el MCA, que haya podido enmascarar otros cambios en la vegetación (Morales-Molino et al., 2011) y b) la posibilidad de que la vegetación de la zona haya podido mostrar algún tipo de respuesta umbral, gradual o elástica que hubiese retrasado el inicio del cambio ambiental asociado al tránsito DA/MCA, tal y como se hipotetiza para Campo Lameiro, en la provincia de Pontevedra (Galicia) (López-Merino et al., 2012).

Además del factor climático, también hay que tener en cuenta la influencia humana en el entorno. El aumento del AP registrado a finales de la fase anterior, también se podría asociar a la decadencia del Imperio Romano y a las invasiones germánicas sucedidas en el siglo V CE, que provocaron la parálisis de la deforestación durante siglos (Gutián Rivera, 2001). De hecho, durante el periodo suevo-visigodo en Galicia, el tamaño poblacional sufrió una importante caída hasta finales del siglo VII (García Álvarez, 1975). Dicho descenso poblacional produjo un abandono de campos de cultivo, así como una disminución de la presión ganadera sobre el monte (Gutián Rivera, 2001). Este escenario, junto a las condiciones climáticas, podría explicar los altos niveles de AP en el entorno de la Laguna de Ocelo.

Por el contrario, a finales del s. VIII CE, empieza el aumento poblacional en zonas situadas al norte del eje Miño-Sil que conduce a un crecimiento del espacio cultivado (Gutián Rivera,

2001). Este incremento poblacional se relaciona con el aumento de la presión demográfica fruto de la inmigración procedente del sur ocupado por el Islam y también de la procedente del norte (fundamentalmente asturianos), que emigra de la sobrepoblación de su zona de origen (Pallares Méndez, 1979). Dicho aumento poblacional, así como el del espacio cultivado, provocan que el área ocupada por los árboles en Galicia disminuya hasta el inicio del s. XIV CE. Dicha disminución presenta su momento culminante en los s. XII-XIII CE, al coincidir con la MCA (Fontana Tarrats, 1977; Martínez Cortizas et al., 1999). También cabe señalar que es posible que la zona que ocupa el Macizo de Pena Trevinca, en el s. XIII, fuera zona de tránsito, además de practicarse la agricultura en las zonas bajas y la ganadería en las zonas altas (Carril et al., 2018). En este contexto, los niveles de AP registrados en los sedimentos de la Laguna de Ocelo, además de por las razones esgrimidas anteriormente, podrían deberse a que el escaso impacto humano que se interpreta para la DA hubiese continuado también durante la MCA.

Fase IV (Zona polínica de Poaceae, *Betula*, Ericaceae y *Quercus*). Edad estimada (Fig. 4): 1417 CE-1879 CE. Periodo: Pequeña Edad del Hielo

Los registros marinos de la zona septentrional y central del Océano Atlántico (Abrantes et al., 2017), así como los registros continentales del noroeste peninsular (Giralt et al., 2017) revelan que la LIA se caracterizó por ser un periodo muy frío y húmedo. Este escenario choca, sorprendentemente, con los valores especialmente bajos del índice de diatomeas euplancónicas/perifíticas (Fig. 4), similares a los registrados para la MCA según Díaz (2022). No obstante, este mismo autor plantea las propias limitaciones del uso de este índice bajo condiciones de cobertura de hielo más persistente, como las que seguramente existieron bajo un clima especialmente frío en el lago y que suponen la dominancia de taxones perifíticos, con independencia de su profundidad (Finkelstein y Gayewski, 2008). En consecuencia, no puede asumirse que las condiciones no fuesen húmedas en la zona como sí sugieren los registros marinos y continentales (Díaz, 2022).

Las condiciones frías durante la LIA hacen congruente el dominio del NAP observado en el registro sedimentario de la Laguna de Ocelo. Otro factor esencial a tener en cuenta es el factor humano. Al inicio del s. XIV, tras la expansión económica de mediados del s. XIII, el espacio dedicado a cultivos en Galicia llegó a su máxima extensión (Gutián Rivera, 2001). A partir de este momento, empezó a declinar, como consecuencia de las diversas crisis que afectaron a Europa durante mediados del s. XIV (Duby, 1968; Portela Silva, 1975), de la

imposibilidad de expandir los terrenos de cultivo y del agotamiento de las tierras de cultivo ganadas al monte (Portela Silva, 1975; Rodríguez Galdo, 1976). De hecho, es en esta época cuando la crisis alcanza su punto álgido en toda Galicia, caracterizándose por el abandono de las tierras y por la ausencia de roturaciones. Como consecuencia de lo anterior, se habría generado un aumento del bosque en Galicia, pero, muy especialmente, de matorral (Gutián Rivera, 2001). El matorral (tanto en momentos de bonanza económica como en momentos de crisis) fue omnipresente desde el paisaje medieval, lo que se debió al empleo del fuego para generar incendios periódicos del monte con los objetivos de regenerar los pastos y para evitar el desarrollo de vegetación leñosa. Esto se hizo durante toda la Edad Media. La disminución de la superficie forestal continuó en Galicia hasta mediados del s. XIX por varias razones que enumera Gutián Rivera (2001): el crecimiento de la población, el crecimiento de la superficie de cultivo, el incremento del pastoreo, la construcción de edificios y la fabricación de instrumentos, la exportación de madera, la construcción naval, las fábricas de curtidos y las herrerías. Más concretamente, en el entorno de Pena Trevinca, la ganadería siguió siendo muy importante durante este periodo, hasta el punto de constituirse en la actividad humana que más forma ha dado a este paisaje de alta montaña (Carril et al., 2018). Un indicador de esta actividad humana, sobre todo en secuencias de elevada altitud, sería la presencia de *Artemisia* en la zona OCE-IV (Morales-Molino et al., 2011).

Fase V (Zona polínica de Poaceae, Ericaceae y *Quercus*). Edad estimada (Fig. 4): 1879 CE-1994 CE. Periodo: Periodo Industrial

Aunque a nivel general se produce en la Península Ibérica un aumento progresivo de las temperaturas y una reducción de las precipitaciones (Bladé et al., 2010), existen importantes variaciones según los registros considerados. Así, aunque los registros continentales constatan un general aumento de la aridez durante este periodo, los registros marinos muestran un incremento de la humedad, especialmente en el sureste peninsular (Nieto-Moreno et al., 2011). Algo similar ocurre con las temperaturas. Mientras los registros de lagos de alta montaña muestran un descenso de las temperaturas (Sánchez-López et al., 2016), los registros continentales a baja altitud manifiestan condiciones más cálidas y áridas (Giralt et al., 2017). Tanto el registro de diatomeas en la Laguna de Ocelo como las facies sedimentarias revelan condiciones generalmente húmedas que favorecieron un aumento de la profundidad del lago según Díaz (2022), hecho que este autor correlaciona con las

condiciones similares registradas en otros sectores montañosos de Galicia (Castro et al., 2020).

En cuanto al factor humano, el s. XIX se caracteriza en la zona de Pena Trevinca por un declive de la ganadería, debido a su progresivo abandono y a la reordenación de los dominios jurisdiccionales (Carril et al., 2018). Por contra, durante la época franquista y con intervención estatal, se plantaron especies de repoblación (como el pino silvestre o *Pinus sylvestris* L.) de manera masiva en superficies comunales de la Serra do Eixe. Otra actividad humana producida en esta zona durante este periodo fue la minería, especialmente la explotación de wolframio, destinado a la industria armamentística durante la Primera Guerra Mundial (Gurriarán, 2000) y durante la Segunda Guerra Mundial (Carril et al., 2018), aunque el estudio preliminar del registro sedimentario de la Laguna de Ocelo no ha mostrado evidencias de actividad minera (Díaz, 2022; López; 2022).

El incremento del AP que registra el diagrama polínico es compatible no sólo con el referido abandono de la actividad ganadera (Carril et al., 2018), sino también con las condiciones progresivamente más cálidas de esta fase climática, así como las condiciones generales de mayor disponibilidad hídrica que reflejan las facies sedimentarias y el registro fósil de diatomeas (Díaz, 2022).

7. Conclusiones

Las conclusiones que se han podido obtener según los objetivos de este TFM son:

1. El análisis polínico del relleno sedimentario de la Laguna de Ocelo y su integración junto con la información previa sobre cronología, sedimentología, geoquímica y micropaleontología, así como con los datos históricos, ha permitido una reconstrucción preliminar, a baja resolución temporal, de los cambios en la vegetación de su entorno y sus posibles causas.
2. Se han podido reconstruir condiciones de paisaje abierto para el período Subatlántico y la Pequeña Edad del Hielo, cambios que son coherentes con las condiciones frías de estas fases climáticas. Por el contrario, el Período Cálido Romano y el Período Industrial, ambos de carácter cálido, reflejan también el dominio de formaciones herbáceas, pero, sobre todo, son el resultado de la actividad humana de deforestación (pastoreo e incendios, entre otros).
3. Los períodos climáticos de máximo desarrollo forestal fueron la Alta Edad Media y la Anomalía Climática Medieval. El conocido abandono de la actividad agrícola y

ganadera en el entorno pueden explicar la reforestación durante la Alta Edad Media y existe la posibilidad de un retardo en la respuesta de la vegetación al tránsito Alta Edad Media/Anomalía Climática Medieval que explique el dominio de las formaciones arbóreas en esta última.

4. Este estudio revela que, a la resolución temporal considerada, el registro polínico del relleno sedimentario de la Laguna de Ocelo está dominado por la señal antrópica frente a la impuesta por la variabilidad climática natural en los últimos 2900 años. La realización de futuros trabajos que aumenten la resolución del muestreo podrá confirmar y/o mejorar los resultados y la interpretación de los datos.

8. Bibliografía

Abrantes, F., Rodrigues, T., Rufino, M., Salgueiro, E., Oliveira, D., Gomes, S., Oliveira, P., Costa, A., Mil-Homens, M., Drago, T., y Naughton, F. (2017). The climate of the Common Era off the Iberian Peninsula. *Climate of the Past*, 13(12), 1901-1918. <https://doi.org/10.5194/cp-13-1901-2017>

Acuña Castroviejo, F., y Calo Lourido, F. (1974). Cultura castreña. En *Gran Enciclopedia Gallega*.

Acuña Fernández, P., y Arias Vilas, F. (1983). Algunhas cuestións sobre os asentamentos na Galicia baixorromana, En *Actas del II Seminario de Arqueología del Noroeste, Santiago de Compostela 1890* (pp. 261-271). Ministerio de Agricultura.

Agencia Estatal de Meteorología. (2023). *Atlas climático*. <http://agroclimap.aemet.es>

Bennett, K. D. (1996). Determination of the number of zones in a biostratigraphical sequence. *New Phytologist*. 132(1), 155-170. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb04521.x>

Bennett, K. D. (2002). *Documentation for psimpoll 4.25 and pscomb 1.03: C programs for plotting pollen diagrams and analysing pollen data*. Uppsala University.

Bermejo Barrera, J. C. (1980). *Historia de Galicia*. Alhambra.

Birks, H. J. B., y Birks, H. H. (1980). *Quaternary palaeoecology*. Edward Arnold.

Bladé, I., y Castro-Díez, Y. (2010). Atmospheric trends in the Iberian Peninsula during the instrumental period in the context of natural variability. En F. F. Pérez y R. Boscolo (Eds.),

Climate in Spain: Past, present and future: Regional climate change assessment report (pp. 25-42). <http://hdl.handle.net/10261/33470>

Bradley, R. S. (2014). *Paleoclimatology*. Academic Press.

Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, J. O., Herzig, F., Heussner, K. U., Wanner, H., Luterbacher, J., y Esper, J. (2011). 2500 years of european climate variability and human susceptibility. *Science*, 331(6017), 578–582. <https://doi.org/10.1126/science.1197175>

Cacho, I., Valero Garcés, B., y González Sampériz, P. (2010). Revisión de las reconstrucciones paleoclimáticas en la Península Ibérica desde el último periodo glacial. En F. F. Pérez y R. Boscolo (Eds.), *Clima en España: Pasado, presente y futuro: Informe de evaluación del cambio climático regional* (pp. 9-24). <http://hdl.handle.net/10261/35128>

Carril, V. P., Trillo Santamaría, J. M., Panareda Clopés, J., y Gurriarán, R. (2018). Las montañas de Trevinca, ¿paisaje patrimonial de Galicia? En F. Molinero y J. Tort (Eds.), *Los paisajes patrimoniales de España* (pp. 172-197). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; Ministerio para la Transición Ecológica.

Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>

Castro, D., Souto, M., Fraga, M. I., García-Rodeja, E., Pérez-Díaz, S., López Sáez, J. A., y Pontevedra-Pombal, X. (2020). High-resolution patterns of palaeoenvironmental changes during the Little Ice Age and the Medieval Climate Anomaly in the northwestern Iberian Peninsula. *Geoscience Frontiers*, 11(5), 1461-1475. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.05.015>

Catalán, J., Camarero, L., Felip, M., Pla, S., Ventura, M., Buchaca, T., Bartumeus, F., Mendoza, G., Miró, A., Casamayor, E. O., Medina-Sánchez, J. M., Bacardit, M., Altuna, M., Bartrons, M., y Díaz de Quijano, D. (2006). High mountain lakes: Extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*, 25(1-2), 551-584. <https://ddd.uab.cat/record/27934>

Catalán, J., Pla-Rabés, S., Wolfe, A. P., Smol, J. P., Rühland, K. M., Anderson, N. J., Kopáček, J., Stuchlík, E., Schmidt, R., Koinig, K. A., Camarero, L., Flower, R. J., Heiri, O., Kamenik, C., Korhola, A., Leavitt, P. R., Psenner, R., y Renberg, I. (2013). Global change

revealed by paleolimnological records from remote lakes: A review. *Journal of Paleolimnology*, 49(3), 513-535. <https://doi.org/10.1007/s10933-013-9681-2>

Catalán, J., Bartons, M., Camarero, L., y Grimalt, J. O. (2013). Mountain waters as witnesses of global pollution. En P. Pechan y G. E. de Vries (Eds.), *Living with water: Targeting quality in a dynamic world* (pp. 31-67). Springer.

Cisneros, M., Cacho, I., Frigola, J., Canals, M., Masqué, P., Martrat, B., Casado, M., Grimalt, J. O., Pena, L. D., Margaritelli, G., y Lirer, F. (2016). Sea surface temperature variability in the central-western Mediterranean Sea during the last 2700 years: A multi-proxy and multi-record approach. *Climate of the Past*, 12(4), 849-869. <https://doi.org/10.5194/cp-12-849-2016>

Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology*. Oxford University Press.

De Vernal, A., Henry, M., y Bilodeau, G. (1996). *Techniques de préparation et d'analyse en micropaléontologie*. Université du Québec à Montréal. https://www.geotop.ca/sites/default/files/fichiers/Micropaleontologie_cahier3.pdf

Díaz, P. D. (2022). *Reconstrucción paleoambiental de la Laguna de Ocelo (Macizo de Pena Trevinca, Galicia, NO de la Península Ibérica) durante el Holoceno superior utilizando indicadores sedimentológicos, geoquímicos y paleontológicos* [Trabajo de fin de máster]. Universidade de Santiago de Compostela.

Duby, G. (1968). *Economía rural y vida campesina en el occidente medieval*. Península.

Dupré, M. (1992). Palinología. *Cuadernos Técnicos de la SEG*, 5, 1-30.

Fægri, K., y Iversen, J. (1989). *Textbook of pollen analysis* (4th ed.). Wiley.

Fariña Busto, F. (1981). Romanización. En *Galicia Eterna* (pp. 61-91). Nauta.

Finkelstein, S., y Gajewski, K. (2008). Responses of Fragilarioid-dominated diatom assemblages in a small Arctic lake to Holocene climatic changes, Russell Island, Nunavut, Canada. *Journal of Paleolimnology*, 40(4), 1079–1095. <https://doi.org/10.1007/s10933-008-9215-5>

Fontana Tarrats, J. M. (1977). *Historia del clima del Finis-Terrae gallego*.

García Álvarez, M. R. (1975). *Galicia y los gallegos en la Alta Edad Media*. Pico Sacro.

- García-Arias, M., Díez-Montes, A., Villaseca, C., y Blanco-Quintero, I. F. (2018). The Cambro-Ordovician Ollo de Sapo magmatism in the Iberian Massif and its Variscan evolution: A review. *Earth-Science Reviews*, 176, 345-372. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.004>
- Giralt, S., Moreno, A., Cacho, I., y Valero-Garcés, B. (2017). Una breve síntesis de la evolución climática de la península ibérica durante los últimos 2000 años. *CLIVAR Exchanges*, 73, 5-10. <https://doi.org/10.31978/639-18-002-5.02>
- Grimm, E. C. (1987). CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13(1), 13-35. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7)
- Gutián Rivera, L. (2001). La destrucción histórica del bosque en Galicia. *Semata: Ciências Sociais e Humanidades*, 13, 105-166. <http://hdl.handle.net/10347/4631>
- Gurriarán, R. (2000). *Da prerromanización ao wolfram: Apuntamentos históricos das explotacións mineiras en Valdeorras*. Tórculo.
- IPCC, 2021. *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- Jambrina-Enríquez, M., Rico, M., Moreno, A., Leira, M., Bernárdez, P., Prego, R., Recio, C., y Valero-Garcés, B. L. (2014). Timing of deglaciation and postglacial environmental dynamics in NW Iberia: The Sanabria Lake record. *Quaternary Science Reviews*, 94, 136-158. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.04.018>
- Juggins, S. (2007). *User guide C2: Software for ecological and paleoecological data analysis and visualisation: User guide version 1.5*. University of Newcastle. <https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/code/C2.pdf>
- López Cuevillas, F. (1953). *La civilización céltica en Galicia*. Porto y Cia.
- López-Fernández, N. (2022). *El registro de esponjas de la laguna de Ocelo (Macizo de Pena Trevinca, Galicia) durante el Holoceno superior* [Trabajo de fin de Grado]. Universidade da Coruña.
- López-Merino, L., Silva Sánchez, N., Kaal, J., López-Sáez, J. A., y Martínez Cortizas, A. (2012). Post-disturbance vegetation dynamics during the Late Pleistocene and the Holocene:

An example from NW Iberia. *Global and Planetary Change*, 92–93, 58–70.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.04.003>

Lytle, D. E., y Wahl, E. R. (2005). Palaeoenvironmental reconstructions using the modern analogue technique: The effects of sample size and decision rules. *The Holocene*, 15(4), 554–556. <https://doi.org/10.1191/0959683605hl830rp>

Maluquer de Motes, J. (1975). La cultura castreña de la Edad de Hierro. En *Actas de las I Jornadas de Metodología Aplicada de las Ciencias Históricas. I. Prehistoria e historia antigua* (pp. 269-284). Universidad de Santiago de Compostela.

Mander, L., y Punyasena, S. W. (2018). Fossil pollen and spores in paleoecology. En D. A. Croft, D. F. Su, y S. W. Simpson (Eds.), *Methods in paleoecology: Reconstructing cenozoic terrestrial environments and ecological communities* (pp. 215-234). Springer.

Martín-Chivelet, J., Muñoz-García, M. B., Edwards, R. L., Turrero, M. J., y Ortega, A. I. (2011). Land surface temperature changes in Northern Iberia since 4000 yr BP, based on $\delta^{13}\text{C}$ of speleothems. *Global and Planetary Change*, 77(1-2), 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.02.002>

Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B. L., Mata, M. P., González-Sampériz, P., Bao, R., Moreno, A., y Stefanova, V. (2008). Arid and humid phases in southern Spain during the last 4000 years: The Zoñar Lake record, Córdoba. *The Holocene*, 18(6), 907-921.
<https://doi.org/10.1177/0959683608093533>

Martínez Cortizas, A, Pontevedra Pombal, X., García-Rodeja, E., Nóvoa Muñoz, J. C., y Shotyk, W. (1999). Mercury in Spanish peat bog: Archive of climater change and atmospheric metal deposition, *Science*, 284(5416), 939-942.
<https://doi.org/10.1126/science.284.5416.939>

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., y Steig, E. J. (2004). Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62(3), 243-255.
<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.07.001>

Moore, P. D., y Webb, J. A. (1978). *An illustrated guide to pollen analysis*. Hodder and Stoughton.

Moore, P. D., Webb, J. A., y Collison, M. E. (1991). *Pollen analysis* (2nd ed.). Blackwell Scientific Publications.

Morales-Molino, C., García Antón, M., y Morla, C. (2011). Late Holocene vegetation dynamics on an Atlantic-Mediterranean mountain in NW Iberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 302(3-4), 323-337. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.01.020>

Morellón, M., Pérez-Sanz, A., Corella, J. P., Büntgen, U., Catalán, J., González-Sampériz, P., González-Trueba, J. J., López-Sáez, J. A., Moreno, A., Pla-Rabes, S., Saz-Sánchez, M. Á., Scussolini, P., Serrano, E., Steinhilber, F., Stefanova, V., Vegas-Vilarrúbia, T., y Valero-Garcés, B. (2012). A multiproxy perspective on millennium-long climate variability in the Southern Pyrenees. *Climate of the Past*, 8(2), 683-700. <https://doi.org/10.5194/cp-8-683-2012>

Moser, K. A., Baron, J. S., Brahney, J., Oleksy, I. A., Saros, J. E., Hundey, E. J., Sadro, S. A., Kopáček, J., Sommaruga, R., Kainz, M. J., Strecker, A. L., Chandra, S., Walters, D. M., Preston, D. L., Michelutti, N., Lepori, F., Spaulding, S. A., Christianson, K. R., Melack, J. M., y Smol, J. P. (2019). Mountain lakes: Eyes on global environmental change. *Global and Planetary Change*, 178, 77-95. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.04.001>

Muñoz Sobrino, C., Ramil-Rego, P., y Rodríguez Guitián, M. (1997). Upland vegetation in the north-west Iberian peninsula after the last glaciation: forest history and deforestation dynamics. *Vegetation History and Archeobotany*, 6(4), 215-233. <https://doi.org/10.1007/BF01370443>

Muñoz Sobrino, C., Ramil-Rego, P., y Rodríguez Guitián, M. A. (2001). Vegetation in the mountains of northwest Iberia during the last glacial-interglacial transition. *Vegetation History and Archaeobotany*, 10(1), 7-21. <https://doi.org/10.1007/PL00013366>

Nieto-Moreno, V., Martínez-Ruiz, F., Giralt, S., Jiménez-Espejo, F., Gallego-Torres, D., Rodrigo-Gámiz, M., García-Orellana, J., Ortega-Huertas, M., y de Lange, G. J. (2011). Tracking climate variability in the western Mediterranean during the Late Holocene: A multiproxy approach. *Climate of the Past*, 7(4), 1395-1414. <https://doi.org/10.5194/cp-7-1395-2011>

Ortiz Núñez, S. (1987). *Series de vegetación y su zonación altitudinal en el Macizo de Pena Trevinca y Serra do Eixo* [Tesis doctoral]. Universidad de Santiago de Compostela.

Pallares Méndez, M. C. (1979). *El monasterio de Sobrado: Un ejemplo del protagonismo monástico en la Galicia medieval*. Diputación Provincial de La Coruña.

Pérez-Alberti, A., y Gómez-Pazo, A. (2023). Glaciers landscapes during the Pleistocene in Trevinca Massif (Northwest Iberian Peninsula). *Land*, 12(3), 530. <https://doi.org/10.3390/land12030530>

Portela Silva, E. (1975). La región del Obispado de Tuy en los siglos XII a XV: Una sociedad en la expansión y en la crisis. *Compostellanum: Revista de la Archidiócesis de Santiago de Compostela*, 20(1-4), 1-468.

Ramil-Rego, P., Rodríguez Guitián, M. A., y Muñoz Sobrino, C. (1996). Distribución geográfica de las formaciones vegetales durante el máximo arbóreo Holoceno (7000-5000 BP) en tres macizos montañosos del NO de la Península Ibérica. En A. Parejón et al., *XII Bienal de la RSEHN* (pp. 257-260).

Ramil-Rego, P., Muñoz Sobrino, C., Gómez-Orellana, L., y Fernández Rodríguez, C. (2001). Historia ecológica de Galicia: Modificaciones del paisaje a lo largo del Cenozoico. *Semata: Ciencias Sociais e Humanidades*, 13, 67–103. <http://hdl.handle.net/10347/4630>

Rivas Martínez, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. ICONA.

Rivas Martínez, S. (2007). Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España: Memoria del mapa de vegetación potencial de España: Parte 1. *Itinera Geobotanica*, 17, 5-436.

Roberts, N. (2014). *The Holocene: An environmental history* (3rd ed.). Wiley Blackwell.

Rodríguez Colmenero, A. (1977). *Galicia meridional romana*. Universidad de Deusto.

Rodríguez Galdo, M. X. (1976). *Señores y campesinos en Galicia. Siglos XIV-XVI*. Pico Sacro.

Rull, V. (2020). *Quaternary ecology, evolution, and biogeography*. Academic Press.

Saa Otero, M. P., Suárez-Cervera, M., y Gracia, V. R. (1996). *Atlas de polen de Galicia I*. Deputación de Ourense.

Sánchez-López, G., Hernández, A., Pla-Rabes, S., Trigo, R. M., Toro, M., Granados, I., Sáez, A., Masqué, P., Pueyo, J. J., Rubio-Inglés, M. J., y Giralt, S. (2016). Climate reconstruction for the last two millennia in central Iberia: The role of East Atlantic (EA),

North Atlantic Oscillation (NAO) and their interplay over the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews*, 149, 135-150. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.07.021>

Santos Fidalgo, L. (1996). *Estudio de la deglaciación finicuaternaria en el NW de la Península Ibérica: Datos paleobotánicos y geomorfológicos* [Tesis doctoral, Universidade da Coruña]. <http://hdl.handle.net/2183/12386>

Stockmarr, J. (1971). Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, 13(1), 615-621.

Tranoy, A. (1981). *La Galice romaine. Recherches sur le nord-ouest de la peninsule ibérique dans l'Antiquité*, Publications du Centre Pierre Paris.

Walker, M., Gibbard, P., Head, M. J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L. C., Fisher, D., Gkinis, V., Long, A., Lowe, J., Newnham, R., Rasmussen, S. O., y Weiss, H. (2019). Formal subdivision of the Holocene series/epoch: A summary. *Journal of the Geological Society of India*, 93(2), 135-141. <https://doi.org/10.1007/s12594-019-1141-9>

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology*. Academic Press.

ANEXO

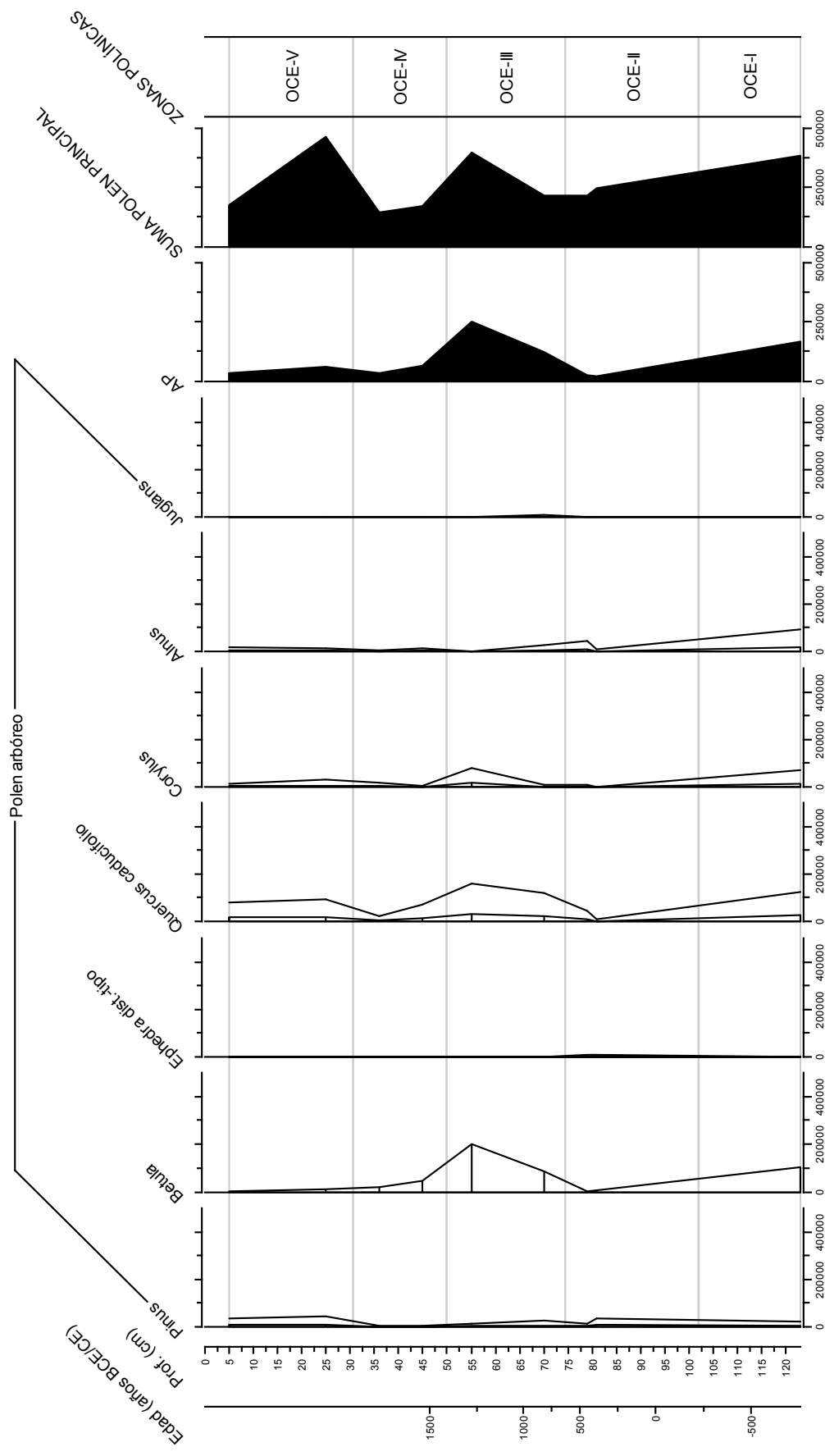


Figura 1. Diagrama de concentraciones polínicas del testigo OCE21-3GA (taxones seleccionados).
 AP: polen arbóreo; NAP: polen no arbóreo. Curva de exageración = x5

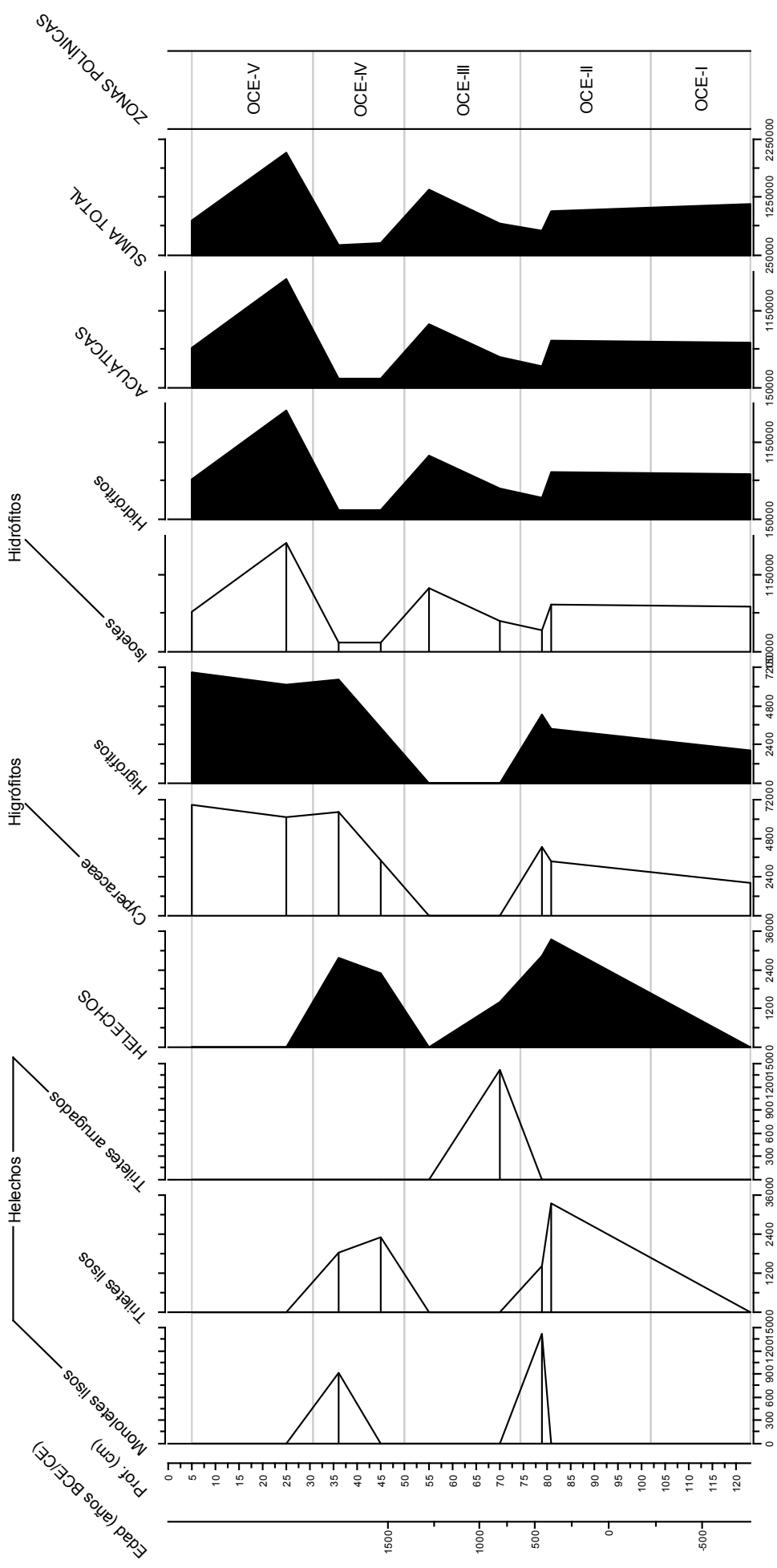


Figura 1 (cont.). Diagrama de concentraciones polínicas del testigo OCE21-3GA (taxones seleccionados).

AP: polen arbóreo; NAP: polen no arbóreo.

